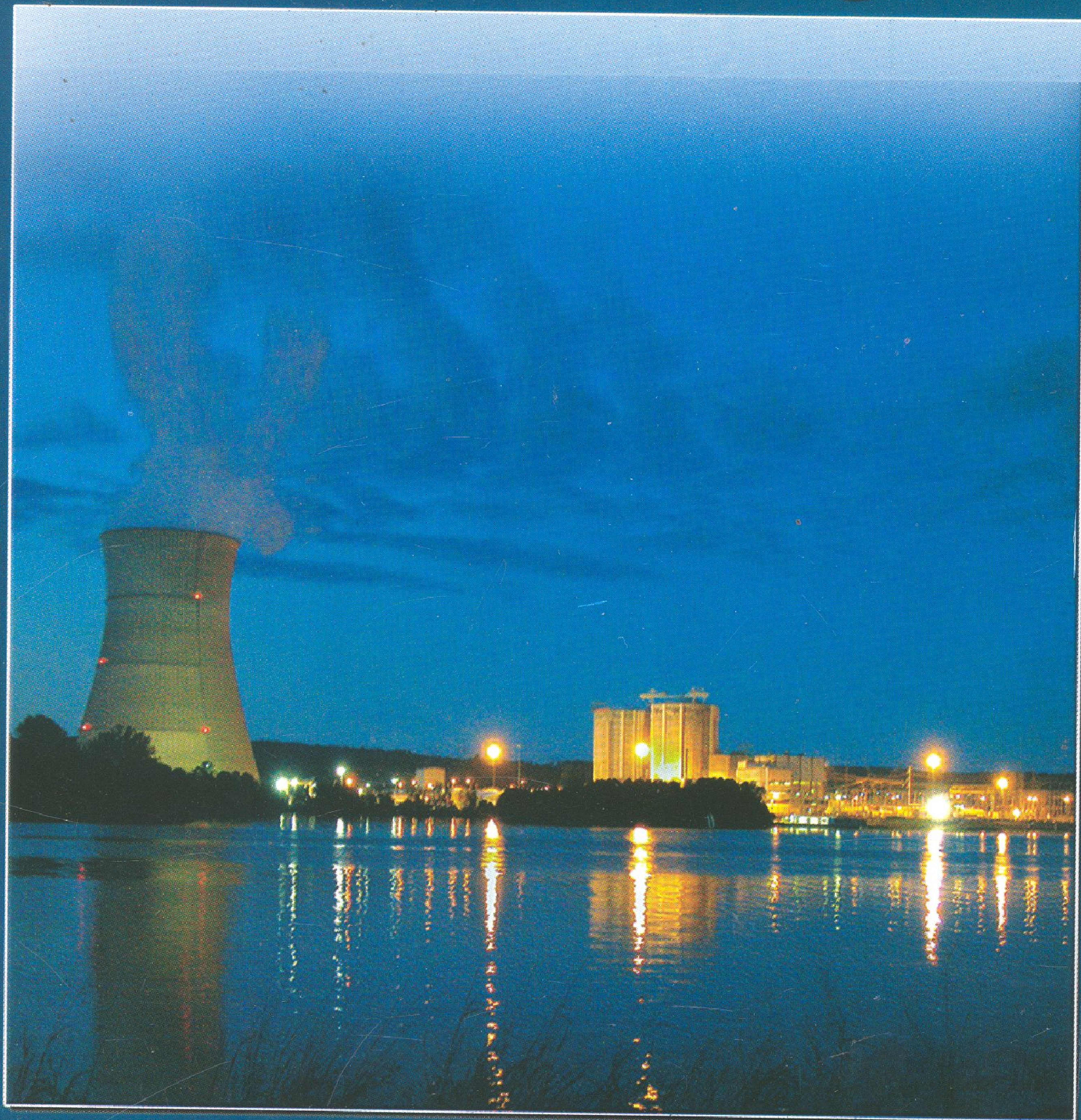
العلوم النووية وتطبيقاتها



مهندس استشاري محمد أحمد السيد خليل

الدار الثقافية للنشر

العلوم النووية وتطبيقاتها

مهندس استشاري
محمد أحمد السيد خليل

الدار الثقافية للنشر

خليل، محمد أحمد السيد.
العلوم النووية وتطبيقاتها.
محمد أحمد السيد خليل ـ ط١ ـ القاهرة: الدار الثقافية للنشر، ٢٠٠٨.
٢٨٠ ص ، ٢٤ سم
تدمك ٦ ـ ٢٤٠ ـ ٣٣٩ ـ ٩٧٧
رقم الإيداع بدار الكتب المصرية ١٧٨٧/ ٢٠٠٨
١ — الطاقة النووية.
العلوم النووية وتطبيقاتها.
٥٣٩,٧٢

الطبعــة الأولــى
١٤٢٩هـ/ ٢٠٠٨م

صندوق بريد ١٣٤ بانوراما ١١٨١١
تليفاكس ٢٤٠٢٠٥١٥ ـ ٢٤١٧٢٧٦٩
Email: info@dar-althakafia.com

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

على الدول العربية ومن بينها مصر أن تمارس حقوقها المشروعة وأن تدخل معترك التنمية الشاملة المسايرة للعصر وفى الإطار القانونى الدولى الذى يعطى الحق فى الحصول على طاقة نووية بالتعاون مع الدول النووية ووفقا لبروتوكولات التقنية والتحقيق التى تطبقها الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وبعد قيام المجلس الوزارى للجامعة العربية بدعوة جميع الدول العربية إلى الإسراع فى تنمية قدراتها النووية وإنشاء هيئات ومؤسسات تعنى بالاستخدام للطاقة النووية وتدريس العلوم النووية وتطبيقاتها فى المراحل الجامعية وما قبل الجامعية.

وبعد أن زالت المخاوف من حوادث المفاعلات النووية نتيجة التطورات العلمية والتقنية الهائلة فى المحطات كما أن المحطات النووية هى الأكثر أماناً للبيئة حيث لا تسبب تصاعد الغازات الملوثة الضارة بالصحة العامة أو ذات التأثير على تغيرات المناخ. وقد شمل تطوير المحطات النووية زيادة عمرها الافتراضى من ٣٠ سنة إلى ٩٠ سنة.

وفى مواجهة التقدم الذى حققته بعض دول المنطقة فى ظل جمود الموقف العربى فى مجال استخدامات الطاقة النووية والذى قد يؤدى إلى أضعاف العالم العربى وتهميش مصالحة وانكساره على النطاق الإقليمي. وكذلك لما تمتلكه دول العالم الصناعية وكذلك بعض دول العالم الثالث من محطات نووية لإنتاج الطاقة الكهربية بما يصل إلى حوالى ٤٥٠ محطة، حيث إنتاج فرنسا من الطاقة الكهربية باستخدام المحطات النووية يصل إلى ٨٠٪.

واستخدام الطاقة النووية لتوليد الكهرباء هو البديل المناسب للوقود الحفرى (البترول، الغاز، الفحم)، وذلك لمواجهة نضوب الاحتياطي من هذا الوقود وذلك خلال عدة عقود زمنية قادمة.

وليست المشكلة فى شراء محطات نووية تسليم مفتاح لتوليد الطاقة الكهربائية وتحلية مياه البحر، تديرها شركات أجنبية أم وطنية لتحقيق هدف تجارى، لا يعطى فرصة حقيقية لإدخال العلوم النووية وتطبيقاتها فى مجالات الحياة فبالإضافة إلى الطاقة

الكهربية وكذلك تحلية مياه البحر وتلك هما الدعائم الأساسية لتنمية الصحارى فى مصر وفى البلاد مناحى الحياة فى الطب والزراعة (لحفظ الحاصلات الزراعية من التلف) وفى الصناعة وفى التأريخ لدراسات الحفريات وفى دراسات المياه الجوفية وكذلك فى دراسات وأبحاث الخامات الطبيعية.. الخ.

ولذلك فإن معرفة مصادر خامات الوقود النووى وكذلك دورة تصنيع وتشغيل الوقود النووى اللازمة لتشغيل محطات الطاقة يعتبر من الأساسيات حتى لا يظل إنتاج الوقود النووى واستخداماته حكرًا على دول تستخدمه أداة للضغط والابتزاز السياسى ونظرا لأهمية نشر الثقافة العلمية فى مجال العلوم النووية وتطبيقاتها. فقد راعينا فى إعداد هذا الكتاب تبسيط العلوم بما يمكن من لديه الأساسيات الأولية فى مجال الفيزياء والكيمياء لاستيعاب المحتوى بسهولة ويسر، وإدراك مدى تعدد وتشعب العلوم والتطبيقات فى هذا المجال.

وقد تم إعداد هذا الكتاب فى بابين.

حيث شمل الباب الأول العلوم النووية وشمل الباب الثانى التطبيقات للعلوم النووية.

وفى الباب الأول تم استعراض مراحل الأبحاث فى مجال العلوم الإشعاعية والنووية من نهاية القرن التاسع حتى منتصف القرن العشرين.وتم تناول أساسيات البناء الذرى والنظرية الكمية والخاصية الإشعاعية، وتم استعراض الأبحاث نحو الانشطار النووي، والأجسام الأساسية ونواة الذرة والنظائر والكشف عن الإشعاع وقياس الإشعاع والتحولات النووية وتخليق العناصر وعلوم الانشطار النووى والاندماج النووى ثم اوضحنا استخدام العلوم النووية لإشعاعات جاما والنظائر.

أما الباب الثانى والذى تضمن التطبيقات للعلوم النووية وكيفية التعامل مع الوقود ومراحل إعداده والموضوعات المفاعلات النووية وأنواعها واستخداماتها ومتطلباتها ومكوناتها. وتوليد الطاقة الكهربية بالمفاعلات النووية وكذلك تحلية المياه المالحة بطريقة النظام المجمع (**Combined System**).

وتناول دورة الوقود النووى وتصنيعه وإعادة استخدام المستنفذ.

وتناول موضوع الاندماج النووى وإنتاج الماء الثقيل.

ثم دراسة بعنوان الطاقة النووية نعمة أم نقمة حيث تم الإشارة إلى حوادث المفاعلات النووية وأسباب حدوثها وكذلك مكونات مواد التدمير النووية. والتلوث الإشعاعي والوقاية منه.

إن العلـوم النووية واستخداماتها شأنها شأن باقى العلوم الحديثة مثل علوم الفضاء... لم تعـد معـرفتها حكـرا علـى الخاصـة والعلمـاء فقط بل أصبحت من المكونات الأساسية للـثقافة العلمـية للمجـتمع والتـى تعطـى للمجـتمع الأدوات القـادرة على معرفة متطلبات احتياجاته وتحقيقها عن علم ومعرفة.

وقد كان الدافع لإعداد هذا الكتاب هو إثراء المكتبة العربية بالعلوم المعرفية عن الطاقة الـنووية واسـتخداماتها وكـذلك نـشر الوعـى العلمـى والثقافـى فـى هـذا المجال وتعريف الشباب بالجهود التي بذلها العلماء حتى الوصول إلى ما تحقق.

ونرجو من الله التوفيق.

القاهرة فى الأول من محرم ١٤٢٩هـ
المـــــوافق ٩ يناير ٢٠٠٨ م

مهندس استشارى
محمد أحمد السيد خليل

الفصل الأول

البناء الذرى، النظرية الكمية والخاصية الإشعاعية

Atomis Structure, The Quantum Theory And Radioactivity

١- مقدمة :

إن اكتشاف الإليكترون فى نهاية القرن التاسع عشر كان نقطة البداية نحو عصر جديد من البحث العلمى الذى أعطى لعلماء الطبيعة التبصر نحو طبيعة وبناء ذرات المادة. ولذلك فإنه تبرز أهمية تطور الأفكار نحو البناء الذرى ووصف بعض التجارب الهامة التى أكدت ذلك.

أ- النظرية الإليكترونية والبناء الذرى:

Electronic Theory, Atomic Structure.

فى نهاية القرن التاسع عشر أجرى (**Sir - J - Thomson**) بعض التجارب بواسطة الكهرباء خلال أنبوب محتويات على الهواء عند ضغط منخفض جدا. بعد هذه الأبحاث وصل إلى نتيجة أن الإليكترونيات السالبة تتكون من جسيمات صغيرة جدا والتى سميت الإليكترونيات. فى الست سنوات التالية، بدا واضحا أن تلك الإليكترونيات السالبة تكون جزء حقيقى من الذرات (**Atoms**) التى تتكون منها كل المواد. والآن أصبح الإعتقاد أن الذرة لها نواه (**Nucleus**) مركزية والتى تتكون من جسيمات مدمجة بإحكام والتى تسمى النيوترونات (**Neutrons**)، البروتونات (**Protons**) حيث الإليكترونات حولها عند مستويات طاقة مختلفة وذرات كل المواد ذات نظام واحد لبنائها، ولكن تختلف الواحدة عن الأخرى بعدد البروتونات والنيوترونات الموجودة فى النواه.

فى الماضى استخدمت فكره دوران الإليكترونات حول النواه مثل الكواكب حول الشمس، ولكن النظرية الرياضية المرتبطة بالطاقة، الحركة ووضع الإليكترونات قد تطورت بحيث أصبحت هذه الفكرة البسيطة غير مقبولة، حيث أمكن رسم نماذج وصور للذرات ولكن توضيح ذلك شديد التعقيد ويصعب تبسيطه.

ب- الإليكترونات والبروتونات: (**Electrons And Protons**):

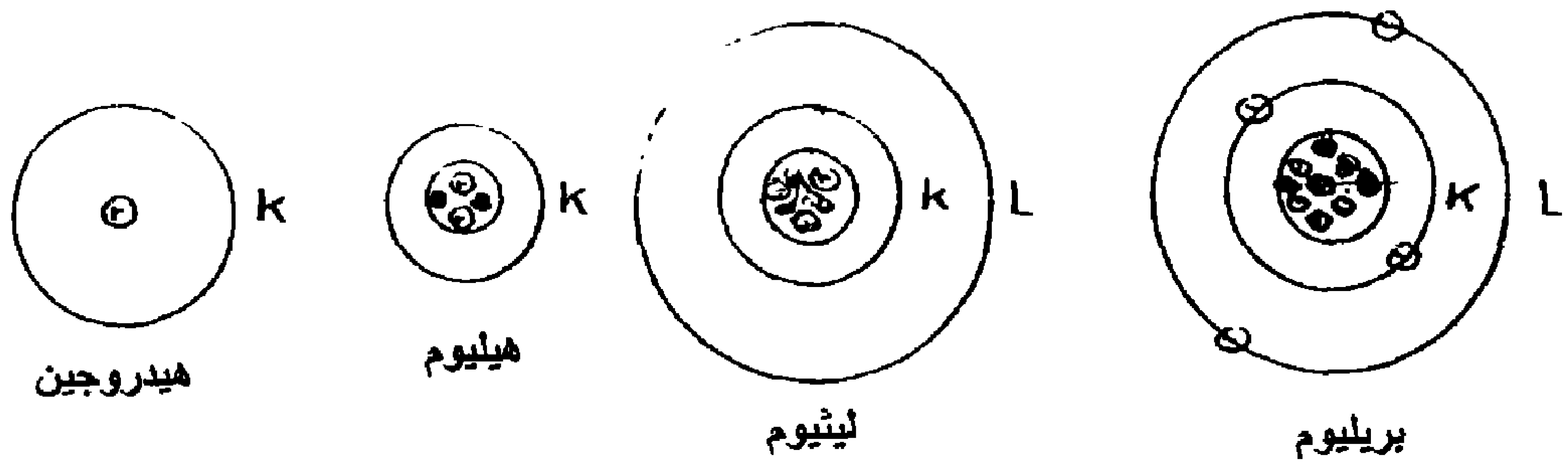
من وجهة النظر الكهربية، البروتونات فى النواة لها شحنة موجبة تساوى شحنة الإليكترون (السالبة). كذلك عدد البروتونات فى الذرة يساوى عدد الإليكترونات، حيث

أن الـذرة ككـل تكـون مـتعادلة كهربيا. لذلك فإن الكهرباء ليست شيئا آخر يختلف عن المادة،ولكـنها جـزء من المادة التى منها الذرات. عندئذ فإننا نرى أنه عند إمكان إنفصال الإلـيكترونات مـن ذراتهـا، وعـند حدوث ذلك لعدد من الذرات فى جسم ما فإن الجسم ككـل سيـصبح ذو شـحنة موجـبة. علـى الجانب الآخر، إذا اكتسب الجسم إليكترونات إضافية فإنه يصبح ذو شحنة سالبة.

جـ - ذرات رزرفورد – بوهر : (The Ruther Ford - Bohr Atyom):

الـشكل القـديم للبـناء الذرى الذى كان قد إقترحه إيرنست رزرفورد، نيلز بوهر. فقد نظـروا إلى الـذرة كما لو كانت النظام الشمسى حيث الكواكب هى الإليكترونات والشمس هـى الـنواه الـصغيرة الثقـيلة. يـوجد مـا يزيد عن مائة عنصر بعضها تم تخليقه صناعيا. أخـف العناصـر، هـو الهـيدروجين الذى له إليكترون واحد مدارى (**Orbital**) ، وأثقل العناصر الطبيعية هو اليورانيوم والذى له ٩٢ إليكترون.

نماذج رزرفورد – بوهر للذرات الأربع الأخف موضح فى الشكل (١/١).



شكل (١/١) نماذج الذرات لرزرفورد - بوهر

(-) اليكترون
(+) بروتون
● نيوترون

ذرة الهـيدروجين هـى الأبـسط من بين الجميع، تتكون نواتها من البروتون والذى هو جـسم ذو أصـغر وحـده كهـربية موجبة أمكن عزلها، وهذا يساوى كمية الشحنة السالبة للإلـيكترون الـمدارى، حيث يعمل كليهما معا كمجموع من التعادل الكهربى. وقد افترض بوهـر أن قوة الجذب الكهربية بين الإليكترون والنواه حافظت على الإليكترون فى مداراه بنفس الطريقة التى تمسك بها قوة الجاذبية الكواكب فى مساراتها حول الشمس.

الـذرة التالـية فـى الـثقل هـى ذرة الهيلـيوم (**Helium**) والتـى لها نواه تحتوى على اثـنين من البروتونات مع اثنين آخرين من الجسيمات المتعادلة والتى تسمى النيوترونات

(Neutrons) ، هـذا بالإضـافة إلى عـدد اثنين إليكترون مداريين. التالى هو معدن أبيض لـين، الليثـيوم (Lithium)، الذى فيه يدور ثلاث إليكترونات حول النواة التى تحتوى علـى ثـلاث بروتونات وأربع نيوترونات. يلى الليثيوم، معدن آخر هو البريليوم وله أربع مـدارات إليكترونـية وهكذا حتى نصل إلى (Kurchatvivm) ذو العمر القصير والذى له ١٠٤، الملحق (أ) بيان بالعناصر.

د – الأغلفة الإليكترونية : (Electron Shells):

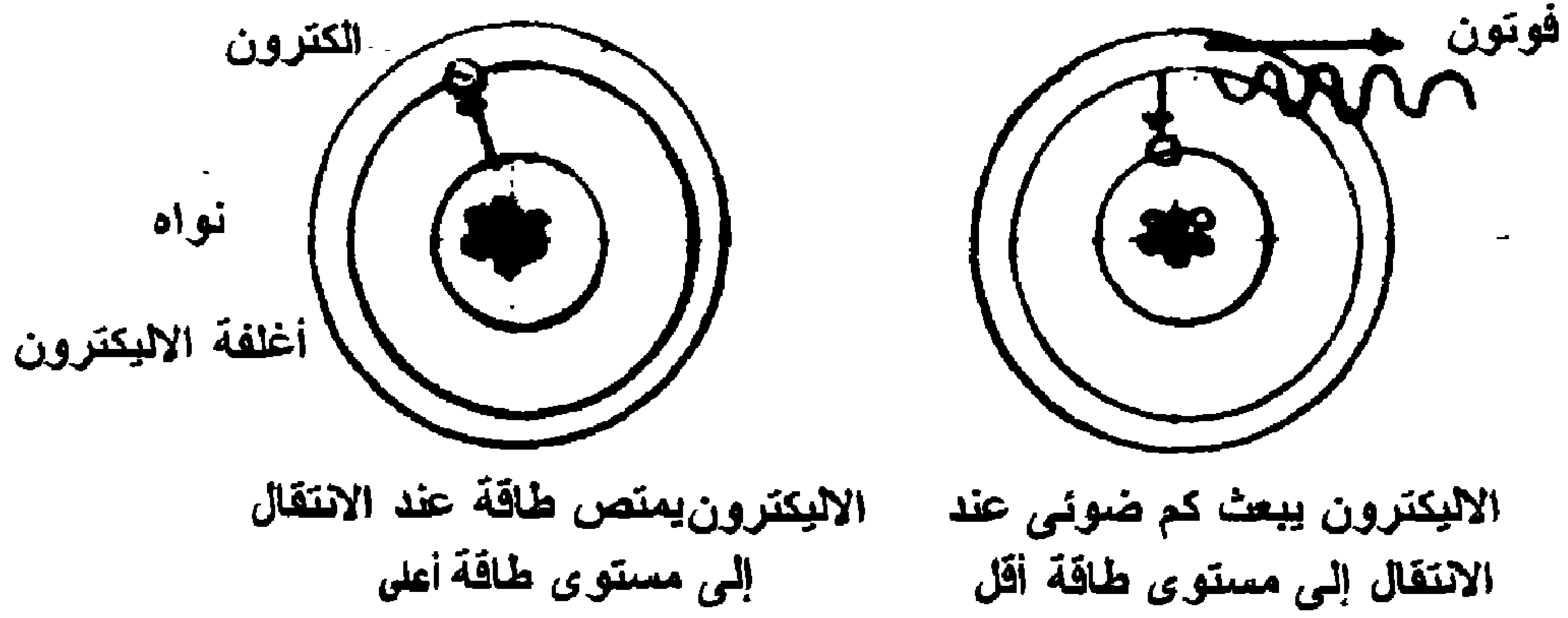
الإليكترونات المدارية تدور باستمرار حول النواه بسرعات عالية جدا فى مدارات التى تغير إتجاهاتها فى الفضاء حيث مجموعة إليكترونات تقتفى خارج الأغلفة منفصلة ذلك علـى المسارات المقيدة فى مستوى واحد. طبقا لحجم الذرة فإنه يمكن أن يكون لها حتى سـبعة أغلفـة (أو مـدارات) محـددة ذات أقطـار مخـتلفة والتـى يرمـز لهـا بالـرموز (P-Q-O-N-M-L-K)، يـوجد حـد لعـدد الإليكترونات التي تشغل أي غلاف (مدار). فمـثلا الغـلاف الداخلـي K لا يمكـنه اسـتيعاب والإمـساك بأكثـر مـن اثـنين مـن الإلـيكترونات، الثانـى يكـون كـاملاً عـند مـا يكون لديه ثمانية، ولكن الثالث يمكنه أن يمسك بحتى ثمانية عشر إليكترون وهكذا.

حجم الذرة ككل هو الحجم المحتجزة بواسطة غلافها الخارجى للإليكترونات. النواة التى فيها يكون التركيز الكبير للكتلة هى مجرد بقعة (Speck) والتى قطرها فقط يتراوح مـن ١÷ ١٠٠٠٠ إلى ١ ÷ ١٠٠٠٠٠ مـن ذلـك للـذرة كلـها. الإليكترونات هى غالبا ذات كـتلة مهملـة، حـيث أن كل إليكترون له كتلة تساوى فقط ١ ÷ ١٨٣٦ من تلك للبروتون (نـواه الهـيدروجين). لـذلك فإنـه يتـضح أن الـذرة تحـتوى علـى فـضاء خـالى جـدا (Far Empty Space) أكثر من المادة الصلبة.

هـ – كيف أن الذرة تبعث الضوء : (How An Atom Gives Out Light):

عـند درجـات الحـرارة العاديـة تكـون أقطـار مخـتلف الأغلفـة الإليكترونـية ثابـتة والإلـيكترونات فـيها تمـتلك كمـية ثابـتة من الطاقة. فى هذه الظروف يقال أن الذرة فى أدنـى حالـة طاقـتها أو فـى حالـة الهمـود (Ground State). إذا أعطيت للذرة بعض الطاقـة الخارجـية، كمـا فـى حالـة تـسخين المـادة أو فـى حالة قذف (Struck) الذرة بواسـطة أيـون سـريع التحـرك فـى أنـبوبة تفريغ كهربية، عندئذ فإن واحد أو أكثر من الإلـيكترونات يمكـن أن ينـتقل مـن مـستوى طاقـة معين إلى مستوى طاقة أعلا. فى هذه

الحالة يقال أن الذرة تم استثارتها (Excited) ولكنها لا تظل طويلا فى هذه الحالة الإليكترونات المشتتة تعود فى الحال إلى مستويات الطاقة الأقل، وعندئذ، فإنها تبعث طاقة فى شكل نبضات موجه كهرومغناطيسية تسمى وحدات الكم الضوئى (Photons) شكل (١/٢)



شكل (١/٢) آلية الاشعاع من الذرة

لذلك فإن الضوء المنبعث بأى نوع من المصابيح يتكون من مليارت الكم الضوئى الصغير المنبعثة من خارج الذرات المثارة عند عودتها إلى حالات مستوى طاقتها المنخفض.

مثل هذه الآلية التى بها تعطى الذرات ليس فقط الضوء المرئى ولكن كذلك الأشعة فوق البنفسجية، وأشعة أكس، والأشعة تحت الحمراء. طول موجه الأشعة المنبعثة يتوقف ببساطة على المستويين المعينين للطاقة الذى يحدث انتقال بينهما للإليكترونات.

و- الإشعاع والنظرية الكمية: (Radiation And The Quantum Theory):

ظاهرة وجود النواه في الذرة جاءت من إيرنست رزرفورد، وشرح عملية الإشعاع من نيلز بوهر، لذلك كان المصطلح ذرة رزرفور — بوهر.

نظرية بوهر كما تم الإشارة إليها مسبقا، هى تطبيق للنظرية الكمية للطاقة التى استنبطها عالم الطبيعة الألمانى (Max planck) ، الذى طورها بغرض شرح الملاحظات التجريبية المتعلقة بإشعاع الطاقة من الأجسام السوداء (Black Bodies). حيث وصل إلى نتيجة أن الطاقة لا تسرى باستمرار من الأجسام الساخنة ولكن تأتى من مجموعات صغيرة تسمى الكم أو الكم الضوئى (Quanta Or Photons). نظرية (Planck) للكم

صار لها نجاح كبير فى عالم الطبيعة، فقد أسست مبدأ أن الطاقة فى كل الأشكال تكون منفصلة وغير مترابطة (**Discrete**)، أى أنها تحدث فقط فى وحدات منفردة وقائمة بذاتها (**Individual units**). بمعنى آخر فإن الطاقة مثل المادة ذات طبيعة ذرية.

ملاحظة: يجب عدم الخلط مع النظرية الكمية التى توضح أن توصيل الحرارة خلال مادة معينة بواسطة حزمة اهتزاز ميكانيكى والتى تسمى (**Phonons**) وهى الكم الحرارى من النسق البللورى مع الفوتونات (**Photons**) وهى الكم الضوئى والذى هو اهتزازات كهرومغناطيسية.

ز– التأثير الضوئى الكهربى (The Photo Electric Effect):

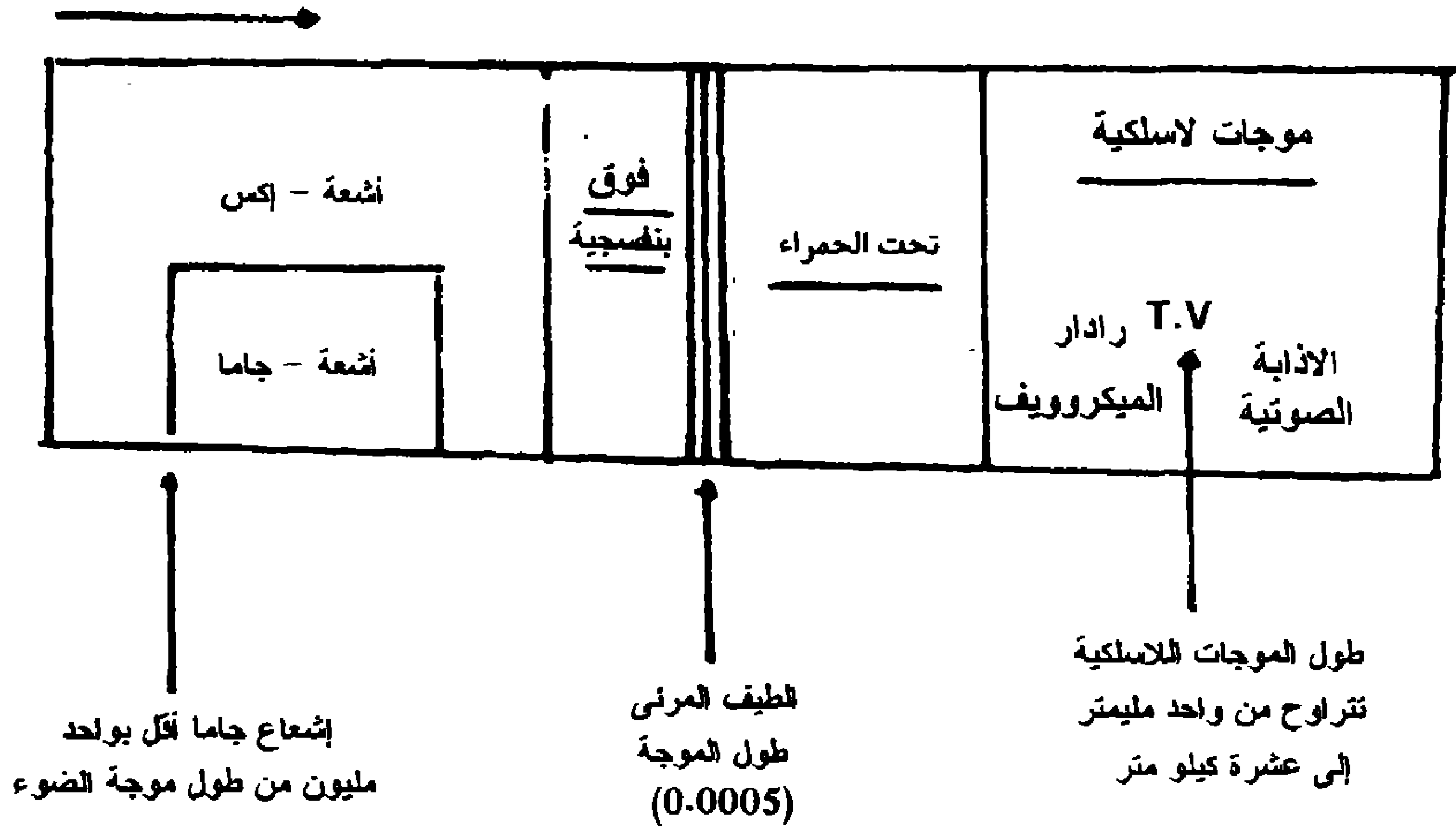
فى عام ١٨٨٨ إكتشف (**Wilelm Hall Wachs**) أن الضوء الفوق بنفسجى يرى على لوح الزنك النظيف المتصل بقضيب موجب الشحنة من شريحة الذهب للجهاز لكشف عن وجود الشحنة الكهربية (**Electroscpe**)، حيث يفقد الاليكترو سكوب ببطئ شحنته. وإن كان السبب فى ذلك لم يكن مفهوما فى ذلك الوقت ولكن الآن تأكد أن الإليكترونات كانت تنبعث من لوح الزنك. تلك سميت الإليكترونات الضوئية (**Photo Electrons**) وعرفت هذه الظاهرة بالتأثير الضوئى الكهربي (**Photo Electric Effect**) .

٢ – شرح التأثير الضوئى الكهربى بالنظرية الكمية:

بعد تجربة (**Hallwach's**) فقد وجد أن معادن أخرى تسلك نفس الطريق بالضوء الفوق بنفسجى، هذا بالإضافة إلى أن البعض أظهر التأثير بالضوء المرئى. فمثلا معدن روبيديوم (**Rubidium**) تستجيب للضوء الأحمر.

استخدمت أطوال موجات مختلفة على كل معدن تم اختباره وقد ظهر أن الإليكترونات الضوئية (**Photo Electrons**) قد انبعثت فقط إذا كان طول موجه الضوء المستخدم أقل من قيمة حرجة معينة.

ومن وجهة نظر التردد (**Frequ'ency**) ، يعنى أن تردد الضوء يجب أن يكون أعلى من قيمة حرجة معينة والتى تسمى القيمة العتبية **Threshold Valne** ، لمعدن معين شكل (١/٣) الطيف الكهرومغناطيسى.



شكل (١/٣) الطيف الكهرومغناطيسى

بالإضافة. إلى أنه حتى أضعف إضاءة، حيث ترددها كان يساوى أو أعلى من القيمة العتبية. ولكن أقل من هذا التساوى. فإن أقصى كثافة ضوئية فشلت فى إحداث أى تأثير.

وقد كان ذلك محل نقاش حتى عام ١٩٠٥ حيث قدم شرح بواسطة ألبرت آنشتين على أساس النظرية الكمية لبلانك.

لقد أوضح بلانك أن كمية الضوء المرسلة بواسطة كم ضوئى (**Photo**) من الإشعاع كانت تتناسب مع تردده. لذلك، فإن الكم الضوئى الفوق بنفسجى (**Ultroviolet Photons**) بتردده العالى جدا له طاقة أكبر من الكم الضوئى للضوء المرئى.

لقد اقترح أنشتين طبقا للمعدن المستهدف، فإن الإليكترون يحتاج إلى أدنى كمية معينة من الطاقة لتحرره من المعدن وأنه يجب أن يستقبل هذه الطاقة فى كم ضوئى منفرد (**Sinolo Quqntum**)، أو فى شكل حزمة (**Lump**). وسوف لا يقبل عديد من كم أصغر كبديل – طبيعى سوف يقبل كم أكبر من القيمة الحرجة، حيث فى هذه الحالة الاتزان للطاقة التى تركت تقوم ببساطة بإعطاء طاقة حركية ضوئية إليكترونية (**photo electron Energy**) عند قذفها.

لقد قام أينشتين بوضع هذه الفكرة فى شكل معادلة.

طاقة الكم الضوئى الساقط = الطاقة اللازمة لاستخلاص الإليكترون من المعدن + أقصى طاقة مركبة للإليكترون المقذوف، بعد ذلك تم تدقيق وإثبات معادلة أينشتين بالتجارب على العديد من مختلف المعادن بواسطة روبرت ميليكان فى أمريكا، وهذه واحدة من أهم التطبيقات الكثيرة للنظرية الكمية للإشعاع.

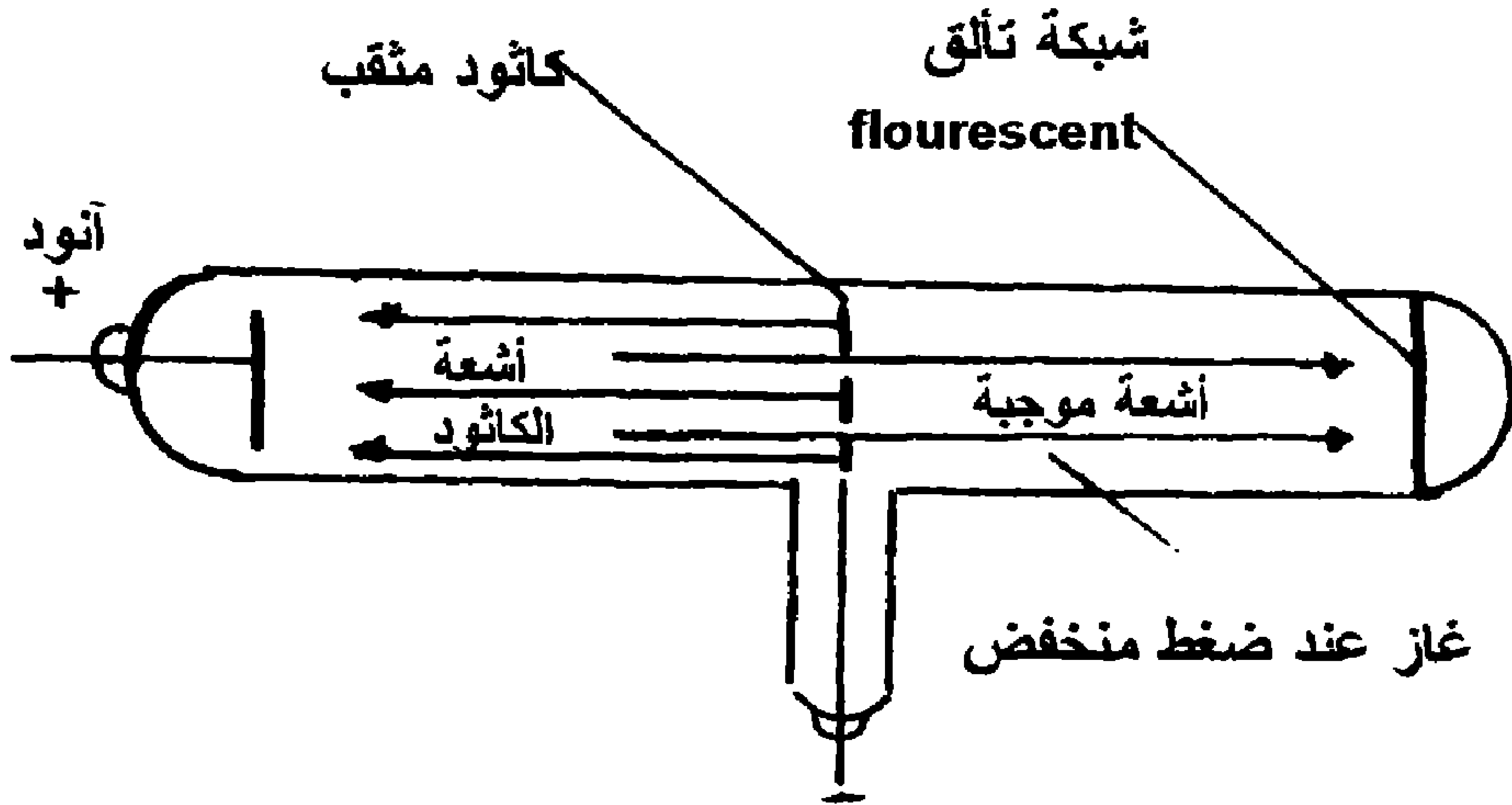
أ – استخدامات الكهرباء الضوئية :

Applications Of Photoelectricity

التأثير الذى تم وصفه تم وضعه فى الاستخدام العملى فى تجهيزات تعرف بالخلايا الضوئية (**Photocells**). وهذه ذات أنواع كثيرة ومختلفة ولها العديد من الاستخدامات فى العلم والصناعة. فمثلا، فى الإنذار عن اللصوص، التجهيزات الآلية للإضاءة عند الظلام، الكاميرات التليفزيونية، استعادة الصوت من تسلسل أحداث الفيلم وهكذا.

ب – الأشعة الموجبة : (Positive Rays).

عند تجربة أنابيب التفريغ الكهربى فى عام ١٩٨٦. فقد وجد إيوجين جولد ستين أنه فى حالة عمل ثقوب مركزية فى أشعات كاثود مضيئة، والتى أطلق عليها (**Canal Rays**) أى أشعة القناة، والتى تم رؤية أنها تمر خلال تلك الثقوب. من الواضح أن شيئا ما كان متقدما أسفل الأنبوب فى اتجاه معاكس لاتجاه أشعة الكاثود. شكل (١/٤).



شكل (١/٤) أنبوب جولدستان للأشعة الموجبة

بعد عدة سنوات لقد أثبت وليام وين أن الأشعة يمكن أن تنحرف بمجالات كهربية ومغناطيسية بنفس الطريقة كما فى حالة أشعة إكس ولكن فى الاتجاه المعاكس. هذا

بالإضـافة إلى اختـبارات أخـرى أظهـرت انهـا يمكـن أن تـتكون مـن جـسيمات موجـبة الـشحنة. وعـند مـا قـام بقياس نسبة الشحنة إلى الكتلة (m: e) لأشعة القنال تلك (التى تـسمي الآن الأشـعة الموجـبة) بالطـريقة التى تشبه لتلك التى استخدمها ثومسون لإيجاد النسبة بين me: e . فقد وجد أن كتلة الجسيمات الموجبة تختلف طبقا لنوع الغاز داخل الأنـبوب والأهم هو أن كتل الجسيمات برهنت أنها قريبة جدا من أن تكون متساوية مع تلـك الـذرات الغـاز فى الأنبوب. لذلك فقد ظهر احتمال كبير أن الأشعة الموجبة تكونت من ذرات الغاز التى انسلخ منها الإليكترونات.

فـى نفـس الـوقت تقريبا تم بحث خواص أشعات الكاثود والأشعة الموجبة، حيث تم اكتـشاف ظاهـرة جديدة النشاط الاشعاعى (radioactivity) والتى ساقت نحو معلومات أكثر عن طبيعة المادة.

جـ - النشاط الإشعاعى: (Radioactivity)

لقـد سبق أن أوضحنا الإشعاع أو انبعاث الضوء الذى يحدث عند سقوط أشعة الكاثود علـى مـواد معيـنة أو التـصادم مـع حـوائط أنـبوب التفـريغ. الاستـشعاع أو الـتفلور (Fluorescens) دائمـا مـصاحب لأنابـيب أشـعة إكـس، وهـذا حفز هنرى ، برسكوبل أسـتاذ الفيزياء فى باريس، لبحث احتمال أن أشعة إكس قد يصاحبها أشكال أخرى من الاستـشعاع. الاستـشعاع يمكن إنتاجه فى عدد من الكيماويات المختلفة ببساطة بتعرضهم إلى ضوء الشمس. طريقة بريكويل كانت بوضع بعض البللورات على سطح لوح فوتوغرافى الـذى تم لفـه جـيدا فـى ورق أسـود ثـم وضـع الكـل فـى ضـوء الـشمس بحيث تستشع البللورات. بعد ذلك قام بتطوير اللوح لمعرفة ما إذا كان شعاع خارق قد تم انبعاثه.

قـام بـريكويل باختـيار عـدد مـن المواد المستشعة (fluorescent) بهذه الطريقة، مع نـتائج سلبية، ولكن حدث تغميق اللوح عند استخدام ملح اليوارنيوم. الأكثر أهمية هو أن التجربة تحدث حتى فى حالة عدم تعرض اليورانيوم للاستشعاع بالتعرض لضوء الشمس. مـن الواضـح ان الاستـشعاع بضوء الشمس لم يكن حالة ضرورية لابتعاث الأشعة الخارقة بهذه المادة.

٣ – إكتشاف عائلة كورى لمواد إشعاعية جديدة:

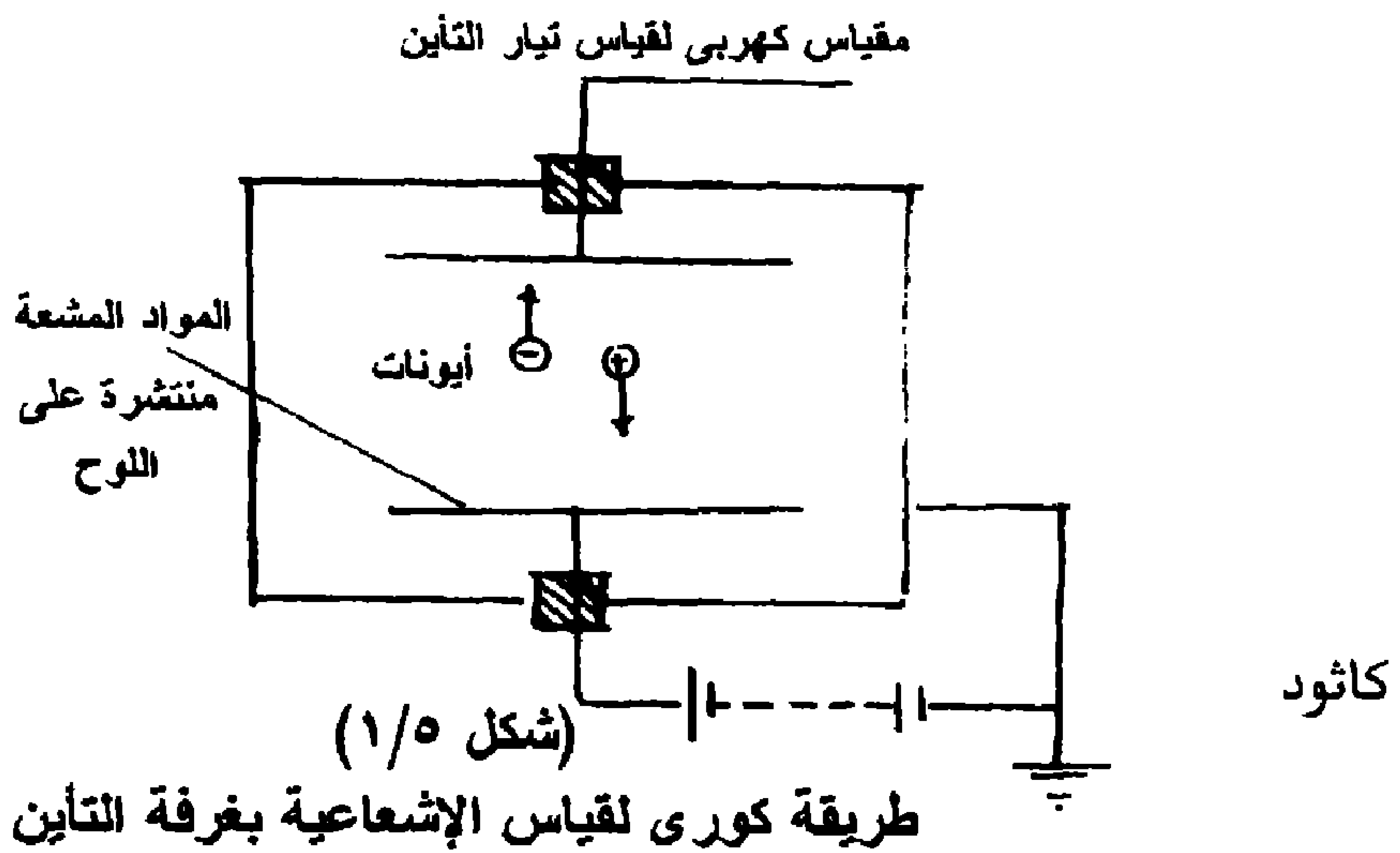
أ – نبذة تاريخية عن عائلة كورى:

ولـدت مـدام كورى (١٨٦٧ – ١٩٣٤) فى وارسو فى بولندا. وقد شاركت كطالبة فى التنظيمات الطلابـية ضـد الدكـتاتورية فى بولندا. ثم أجبرت على ترك بولندا إلى باريس بـسبب نـشاطها الـسياسي. وقـد إهتمت هى وزوجـها بيير كورى باكتشاف بيكريل حيث صـارا فـيما بعـد أسـاتذة للعلـوم الطبيعـية فى جامعة السربون. فى عام ١٩٠٣ نالت مع زوجهـا بييركورى وهنرى بيكريل جائزة نوبل فى الفيزياء لاكتشاف الاشعاعية. وفى عام ١٩١١ نالـت جائـزة نوبل فى الكيمياء لاكتشاف وعزل الراديوم (**Radium**). وقد كانت أول مـن نـال جائـزتين نـوبل. وقد اكتشفت هى وزوجها عنصر البلونيوم (**Plonium**)، وهـذا العنـصر تم تـسميته بالنسبة لموطنها الأصلى بولندا. (مدام كورى وابنتها إيرين ماتا بالمـرض الـذى سـببته الإشـعاعات وقـد كانوا ضحية التقدم العلمي). وقد تقاسمت إيرين وزوجهـا فريديـرك جائـزة نوبل فى الكيمياء عام ١٩٣٥. وبذلك فإن أسرة كورى قد نالوا جائزة نوبل لأربع من أعضاء هذه الأسرة.

ورغـم مـساهمة مـدام كـورى المتميـزة فـى العلـم، إلا أن تعييـنها فى أكاديمية العلوم الفرنسية فى عام ١٩١١ تم رفضه بصوت واحد لكونها امرأة.

ب – اكتشاف كورى لمواد إشعاعية جديدة:

لقـد وجـدت مدام كورى وزوجها أن الأشعة (**Rays**) من اليورانيوم كانت السبب فى تـأين جزئيات الهواء (**Air Molecules**) ووجدوا فى ذلك وسائل لقياس كثافة الإشعاع. مخطط مبسط للجهاز المستخدم موضح فى الشكل (١/٥)



(شكل ١/٥)

طريقة كورى لقياس الإشعاعية بغرفة التأين

الجهاز يتكون من لوحين من المعدن معزولان داخل صندوق معدنى موصل أرضى (Earthed) أو غرفة تأين. اللوح السفلى تم رفعه إلى الجهد العالى بواسطة بطارية كهربية.

عند نشر بعض من مادة مشعة على اللوح السفلى فإن الإشعاع (Rays) الذى أنتجته أحدث تأين للهواء داخل الغرفة. الأيونات الموجبة والسالبة التى تكونت كانت عندئذ قد تحركت فى اتجاهات معاكسة بواسطة المجال الكهربى بين اللوحين. لذلك، فقد سرى تيار تأين رقيق وهذا تم قياسه بجهاز سمى (Electometer) المتصل باللوح العلوى. مقياس تيار التأين استخدم كقياس لإشعاعية العينة المنتشرة على اللوح السفلى.

باستخدام كاشف إشعاعى بهذا النوع، حاولت كورى استخدام كيماويات أخرى مختلفة ووجدت أن المواد المحتوية على الثوريوم (Thorium) أعطت كذلك إشعاع تأين. ولكن أهم اكتشاف لهم كان النشاط الكبير لخام اليورانيوم البتش بلند (pitch blende) وهو مادة سوداء لامعة من أكسيد اليورانيوم.

مع معرفة ذلك قامت الحكومة الأسترالية بإهدائهم طن من خام البتش بلند من مصانع استخلاص اليورانيوم فى بوهيميا، وبعد أسابيع كثيرة من العمل الشاق المستمر نجحوا فى أن يستخلصوا منه كمية صغيرة من (Hitherto) عنصر مشع غير معروف وقد قاموا بتسمية هذا العنصر بلونيوم (Plonium) على شرف الموطن الأصلى لعائلة كورى، بولندا. مع استمرار أبحاثهم، فقد قاموا بعزل عنصر جديد آخر والذى كان أكثر نشاطا والذى أعطوه اسم راديوم (radium) الخطوة التالية كانت بالتجارب على تلك المواد الجديدة لمعرفة الكثير عن طبيعة الإشعاعات المؤينة التى انبعثت.

جـ - طبيعة الأشعة من المواد المشعة :

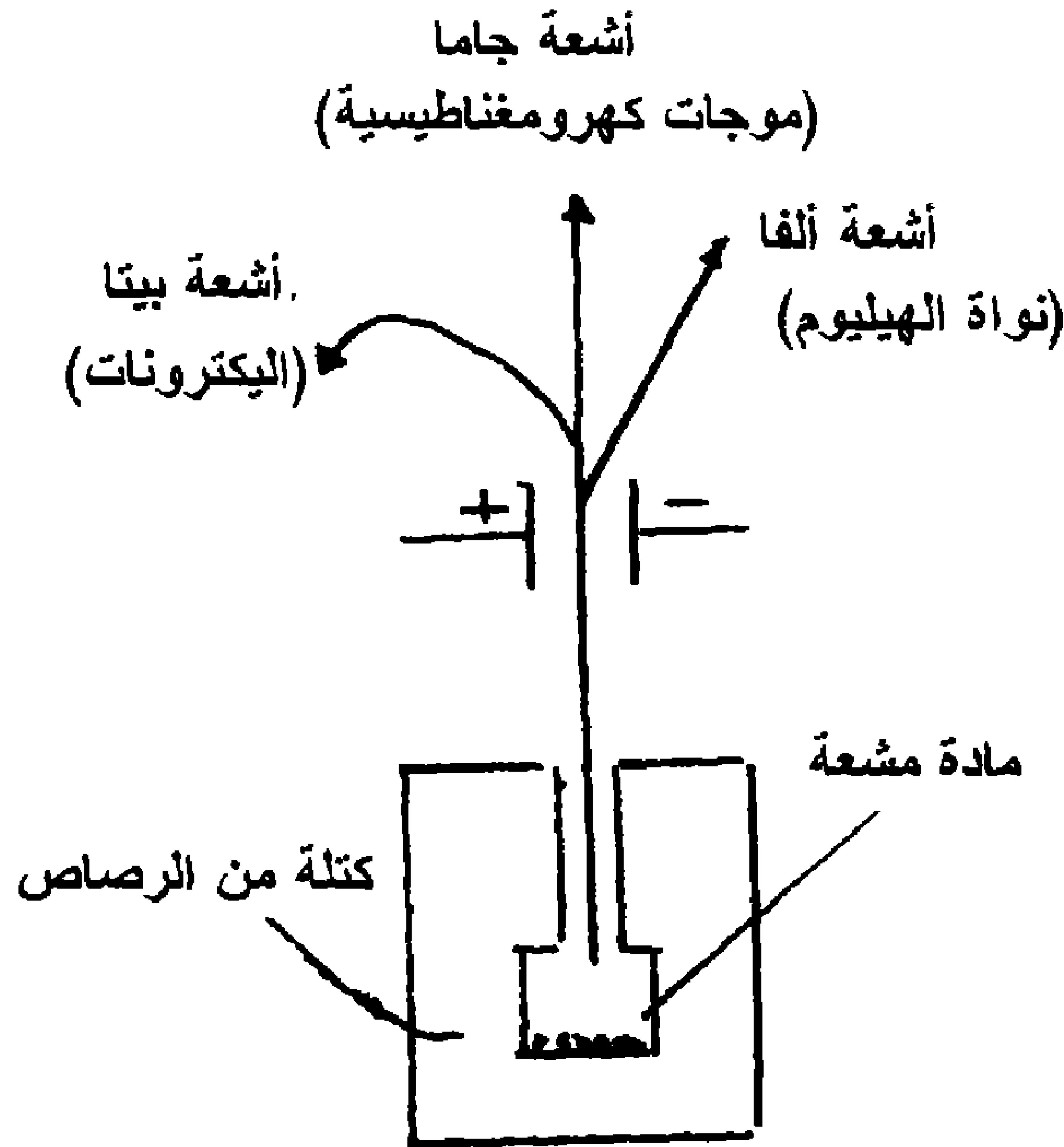
لقد لاحظ كلا من بيكيريل وكورى (Curies) أن جزء من الإشعاع يمكن أن يحيد بالمجال المغناطيسى بنفس الطريقة تماما كأشعة الكاثور بينما الباقى كان يحمل شحنة موجبة. وقبل ذلك وجد فيلارد مكون ثالث الذى يحمل كل الشبة لأشعة إكس. فى تجارب كل هؤلاء استخدموا الطرق الفوتوغرافية والتأين لكشف وقياس كثافة مختلف أنواع الإشعاع.

فى عام ١٨٩٩ أوكلت دراسة الإشعاعية إلى إيرنست رزرفورد أستاذ الطبيعة فى ذلك الوقت فى جامعة ما جيل فى كندا، والذى درس قبل ذلك فى كامبردج تحت إشراف

السير ثومسون. وقد قام رزر فورد بتسمية الثلاث أنواع من الأشعة ألفا (α)، بيتا (β) جاما (γ) وبدأ فى العمل لدراسة خواص أشعة ألفا بالتحديد. فقد وضع قليلا من الراديوم عند قاع صندوق صغير من الرصاص وتم تعريض الأشعة التى خرجت منه إلى فعل مجال مغناطيسى قوى وعند زاوية قائمة لاتجاهها: لهذا الغرض فقد استخدم مغناطيسى قوى جدا بما يمكن من معرفة أن أشعة ألفا (α) انعكست فى اتجاه معاكس لأشعة بيتا. وقد أظهر ذلك أن أشعة ألفا تحمل شحنة موجبة، وأن أشعة جاما لا تتأثر بالمجال المغناطيسى.

ولأننا لسنا بصدد مناقشة كل التجارب التى أوصلتنا إلى معرفة الإشعاع ولكن يمكن تلخيص خواصها الرئيسية.

لقد قامت مدام كورى بتلخيص النتائج للعديد من الاختبارات فى مخطط يشبه لذلك الموضح فى الشكل (١/٦).



شكل (١/٦) تأثير المجالات الكهربية مغناطيسيةعلى أشعاعات الفا وبيتا وجاما

٤- أنواع وخواص الأشعة :

أ- أشعة الفا : Alpha (α) Rays :

تتكون أشعة ألفا من تيار من جسيمات ألفا. جسيم ألفا يتشابه مع نواه الهيليوم — ٤ ($^{4}He^{2+}$) شكل ١/٦. تلك الجسيمات يمكن أن تخترق المادة، ولكن قوة إختراقها ضعيفة. هذه الأشعة تنتج أيونات في المادة التى تسقط عليها. جسيمات الفا تنعكس بالمجالات الكهربية والمغناطيسية بسبب شحنتها الكهربية شكل (١/٦). أشعة ألفا هى نوبات الهيليوم ذرات الهيليوم التى فقدت اثنين من إليكتروناتها المدارية وبذا فإن لها شحنة موجبة. من أى مادة مشعة معينة فإنها كلها تنبعث بنفس السرعة تقريبا. فلها مجال فى الهواء عده سنتيمترات، ولكن معظمها يتم إيقافه بواسطة رقيقة دقيقة من لفيفة الألومونيوم أو بواسطة ورقة بالسمك العادى.

ب- أشعة بيتا هى تدفقات من الإليكترونات عالية الطاقة :

هذه الأشعة تشبه أشعة الكاثود. وهى تنبعث بسرعات متغيرة، تقترب السرعة الضوء (٣ × ١٠^٨ متر فى الثانية) وتلك ذات الطاقة الكبيرة تكون قادرة على إختراق عدة سنتيمترات من سمك الألومونيوم.

جـ- أشعة جاما تتكون من إشعاع كهرومغناطيسى :

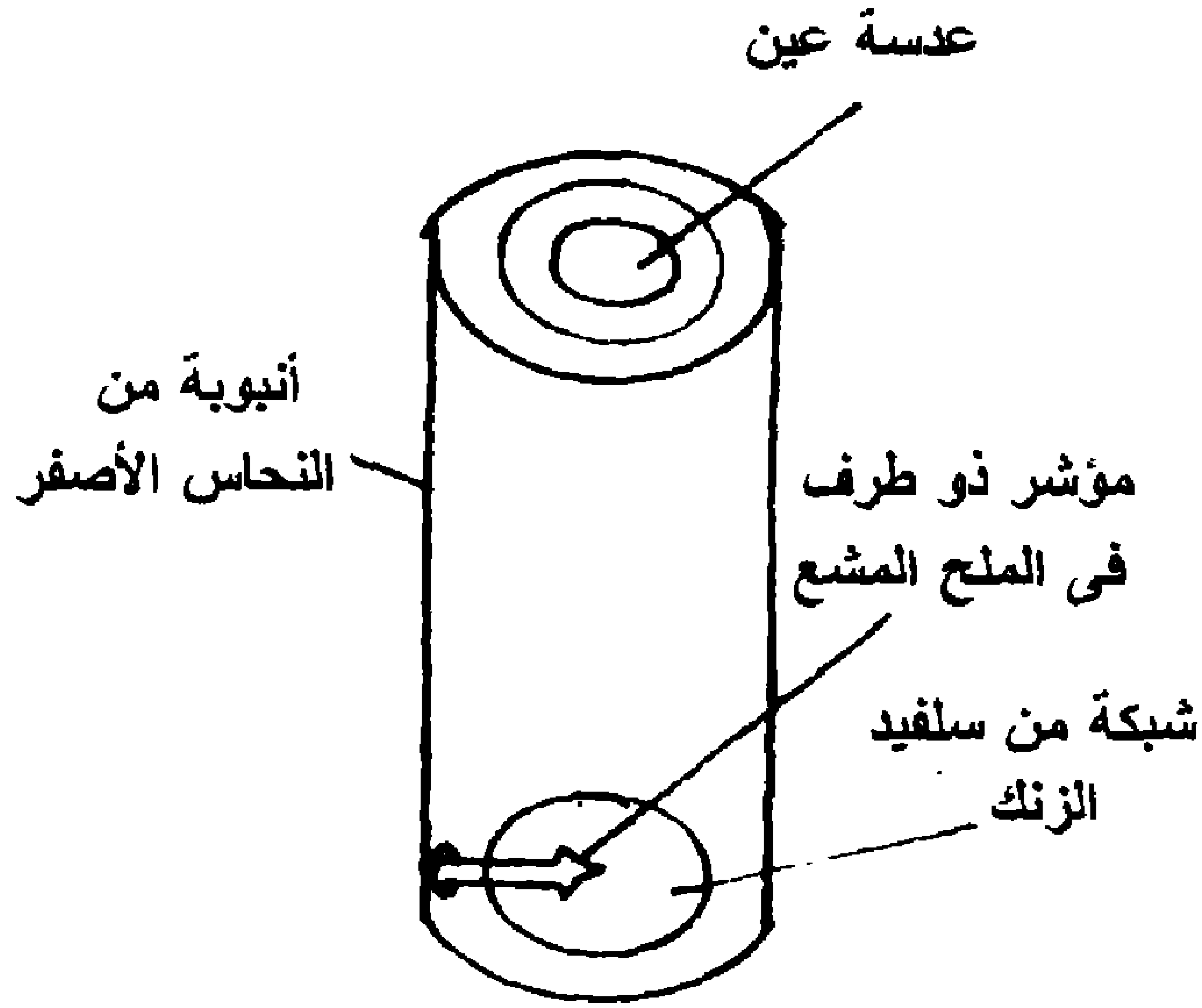
وهى تشغل حزمة ضمن أشعة أكس والتى هى أقصر أطوال موجه معروف شكل(١/٣) أشعة جاما ذات أعلا طاقة تكون عالية الإختراق وتقترب الامتصاص الكامل فقط بعد عبور كثيرا من السنتيمترات للرصاص. الفرق الأساسى بين أشعة جاما وأشعة إكس هو أن أشعة جاما مصدرها من التغيرات فى الطاقة فى نوبات الذرات بينما أشعة إكس تأتى من تغيرات الطاقة المصاحبة لبناء إليكترون الذرة.

د- منظار الومض والومضات :

Crook's Spinthariscope Scintillations

لقد وجد وليام كروكس أنه عند إرتطام جسيمات ألفا (α) مصفاه مغطاه بسلفيد الزنك **Zinksulphide** حدث شرر أو ومضات عند نقطة التصادم.

لتوضيح هذا التأثير قام بتصميم جهاز بسيط سمى منظار الوميض شكل (١/٧)



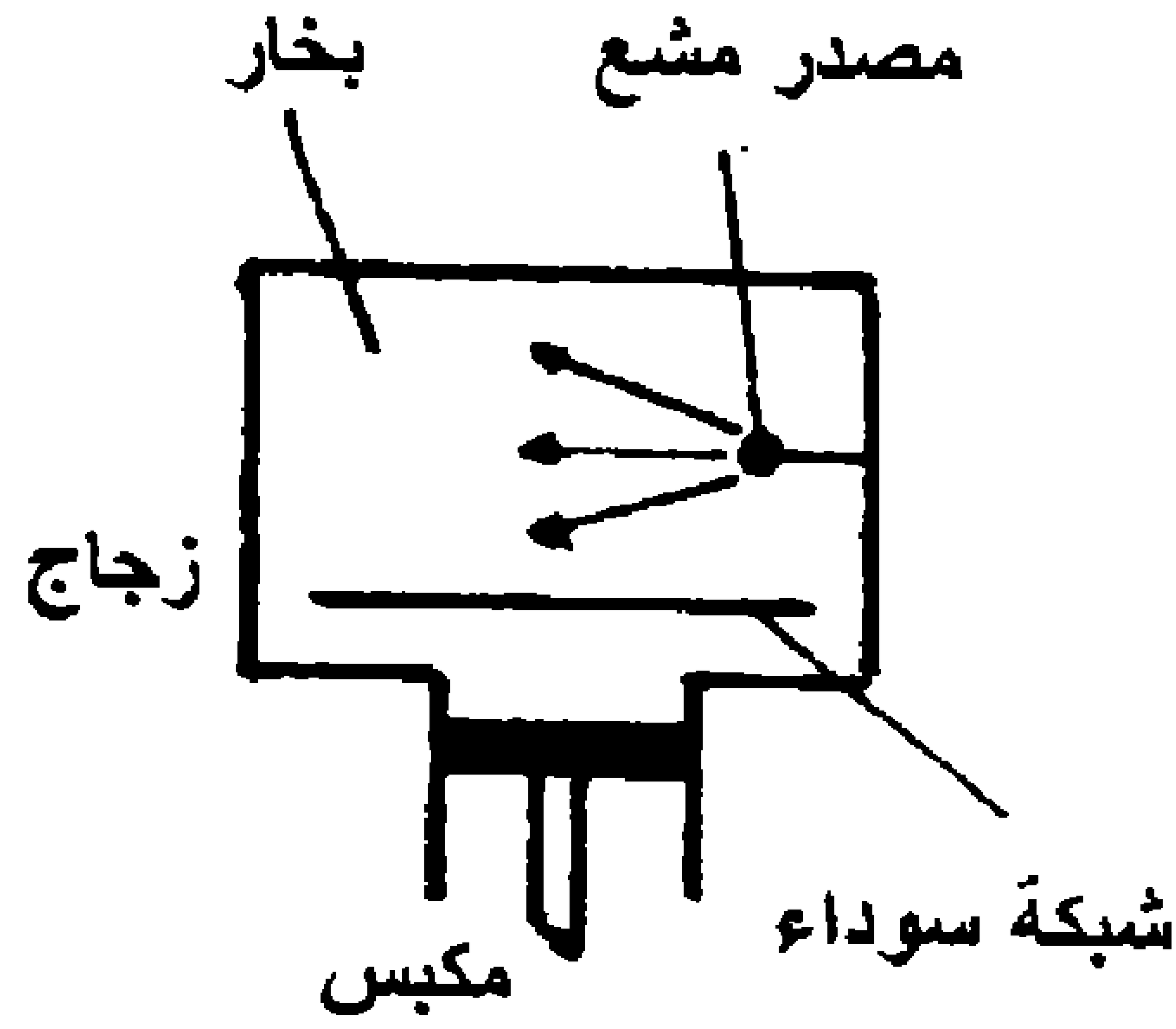
شكل (١/٧) منظار الوميض لكروك

يـتكون جهـاز الومـيض من أنبوب قصير من النحاس الأصفر (Brass) لها مصفاه من سلفيد الـزنك عـند أحـد النهايات وعدسة تكبير عند الأخرى. فوق سطح المصفاة مباشرة يـتم وضـع ذراع الـساعة مع كمـية مـن الملـح المشع على طرفه، والومضات يمكن رؤيتها خلال عدسة العين. لهذا فإن هذه الطريقة ثبت جدواها لأغراض عدد جسيمات ألفا.

أ – غرفة السحاب (**Cloud chamber**)

إذا تم التبريد الكافى للهواء بحيث أن يصل البخار الموجود إلى حد التشبع، فإنه من الممكـن زيـادة التـبريد بـدون حدوث تكثف إضافي. فى هذه الظروف يقال أن البخار فى حالة التشبع الزائد (**Super saturated**) . يحدث هذا فقط فى حالة خلو الهواء كلية مـن الغـبار أو مـن جـسيمات الأمـلاح التـى تعمـل كنويات التى يمكن أن يتكثف عليها البخار لتكوين نقاط السحاب.

لقـد إكتـشف ويلـسون أن الأيـونات الغازيـة يمكـن كذلك، أن تعمل كنويات تكثيف وتأكـد مـن أن هـذا الـتأثير يمكن استخدامه لرؤية مسارات إشعاعات التأين خلال الهواء الشكل (١/٨) يوضح مبدأ غرفة السحاب التى صممها ويلسون لهذا الغرض.

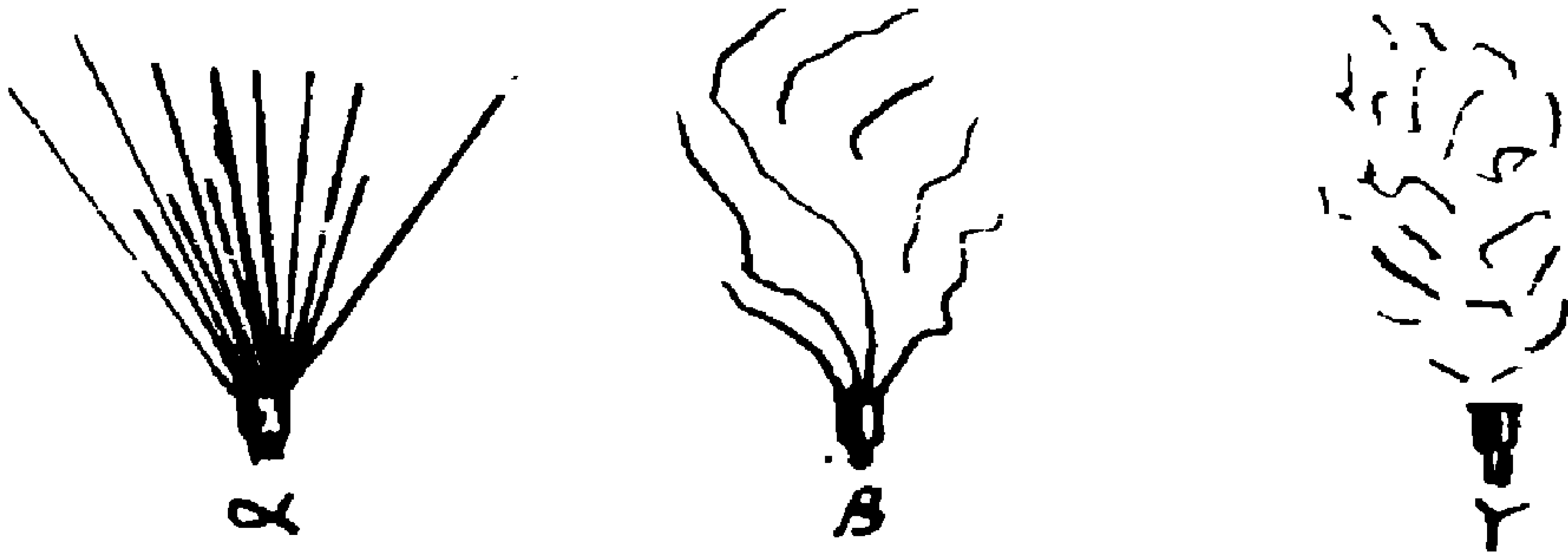


شكل (١/٨) غرفة السحاب

المصدر المشع يبعث الجسيمات فى فضاء الهواء المشبع بالماء أو بخار الكحول داخل وعاء نافذة زجاجية. مع سرعة الجسيمات خلال الهواء فإنها تصطدم مع جزئيات الهواء بتلك القوة بحيث أن الإليكترونات يتم طردها (**Knocked off**)، تاركة ممر لأيونات موجبة وسالبة. عندئذ إذا حدث تمدد مفاجئ لفضاء الهواء بتحريك المكبس، فإنه يحدث تبريد ويتكثف البخار على الأيونات، وبذا تنكشف مسارات الجسيمات.

ب – مسارات غرفة السحاب: (Cloud Chamber Tracks)

مظهر مسارات السحاب يتوقف على الجسيمات ذات العلاقة ويمكن أن يستخدم كوسائل للتعرف شكل (١/٩).



شكل (١/٩) مظهر مسارات غرفة السحاب

جسيمات α ذات الكتلة نسبيا تتبع ممرات مستقيمة، دافعة الإليكترونات بعيدا عن الذرات مع مسارها منتجة حتى ١٠٠٠٠ زوج من الأيونات (**Ion Paris**) لكل سنتيمتر من مسارها. مسارات السحب الناتجة تكون مستقيمة وكثيفة.

بالمقارنـة، جـسيمات β الخفيفة جدا تقاسى التنافر من إليكترونات الذرات التى تمر قـريبا مـنها وتجعـل تـصادمات الـتأين أقـل. وهـى تعمـل فقـط قلـيل من مئات زوج من الأيـونات لكل سنتيمتر للمسار وبالتالى فإنها تحدث مسارات سحاب رقيقة وغير منتظمة أشـعة جامـا لا تحدث مسارات سحاب على طول مساراتها الخاصة. ولكن الكم الضوئى (**Photons**) لأشـعة جامـا قـد يتفاعل مع ذرة فى مساره معطيا جزء أو كل طاقتها لطرد إلـيكترون مـنها. عندئذ تسلك الإليكترونات مثل جسيمات بيتا منتجة مسار سحاب غير منتظم لها والذى يتفرع إلى الخارج من اتجاه شعاع جاما.

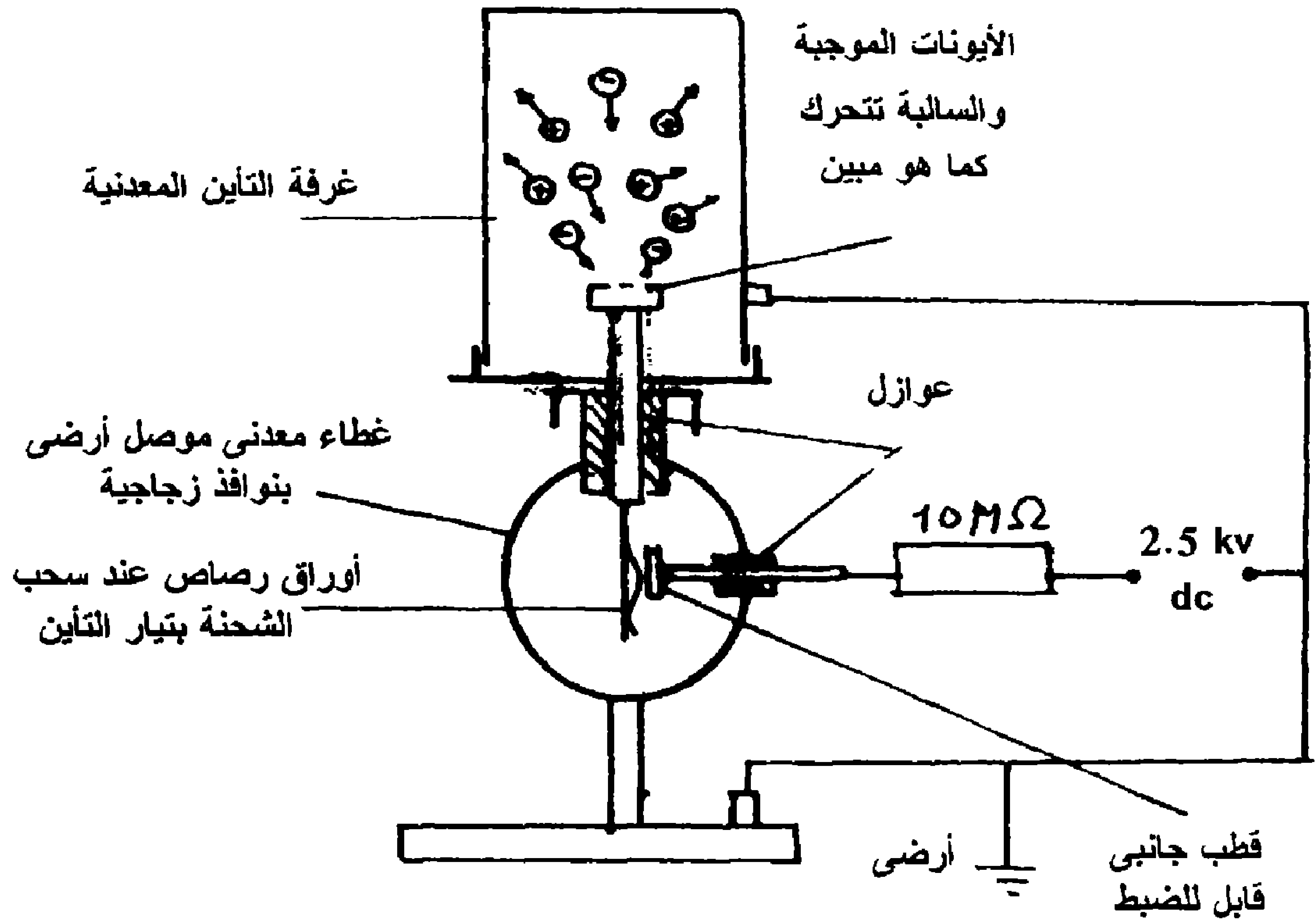
الآن تـتم دراسـة الجـسيمات عالـية الطاقـة بمـساعدة غـرف الفقاعـة (**Bubble Chambers**) التـى تكشف مرور الجسيمات بمسار الفقاعات فى الهيدروجين السائل أو فـى بنـتين شكل (١/١١). وقد برهنت غرفة السحاب على القيمة الكبيرة للأبحاث على الجسيمات الغير مرئية ولكنها تمكن كذلك من تقرير طاقتها من واقع طول مساراتها. فى حالـة الجـسيمات الحاملـة لـشحنة كهـربية، فـإن استخدام المجال المغناطيسى يسبب إنحراف لمسارات واتجاه الانحراف كان دلالة على علاقة الشحنة الكهربية المحمولة.

٦ – طرق قياس نشاط المواد المشعة :

مـنذ أيام مدام كورى وعائلتها تم تطوير الكثير من الطرق الجديدة لقياس النشاط. عدد منهم يشمل شكل غرفة التأين. سيتم شرح طريقتين للقياس:

أ – كاشف وجود الشحنة الكهربية النابض: The Puls (Wulf) Electroscope

الـشكل (١/١٠) يوضـح مكونات كاشف وجود الشحنة الكهربية النابض. واستخدامه لكشف تأين الهواء بالاشعاع من مصدر نشط.



شكل (١/١٠) الكشف عن التأين للهواء بمصدر مشع

فى بعض الاعتبارات كاشف الشحنة النابض يشبه كاشف الشحنة بورقة الذهب (Gold leaf). يتم شحن الورقة يجعلها تنجذب وتلتصق بقطب جانبى الذى يكون عند جهة مرتفع. عندئذ يتم دفع الورقة، وعودتها إلى الصفر يكون بمساعدة تجهيزه زنبرك خفيف.

ب- لتوضيح تأين الهواء بمصدر مشع:

مصدر مناسب مثل يورانيوم – ٢٢٦ يتم التقاطه بواسطة كلابه ٠ ليس بواسطة الأصابع) وحشرة فى القطب العلوى لكاشف الاشعاع (wulf). يتم وضع غرفة التأين فى مكانها وعمل التوصيلات خلال مقاوم أماكن عالى القيمة إلى ٢,٥ قوة كيلو فولت معاكس كما هو موضح فى الشكل (١/١٠).

الاشعاع من المصدر تؤين الهواء، وتحت تأثير المجال الكهربى بين القطب المركزى وحوائط الغرفة، تتحرك الأيونات الموجبة نحو جدران الغرفة والأيونات السالبة نحو القطب المركزى.

نظر لأن القطب المركزى يجمع أيونات ذات علامة معاكسة فإنه يصبح بدون شحنة (Discharged) ويصبح مرة أخرى منجذبا نحو القطب الجانبى. يعود عندئذ إلى الصفر

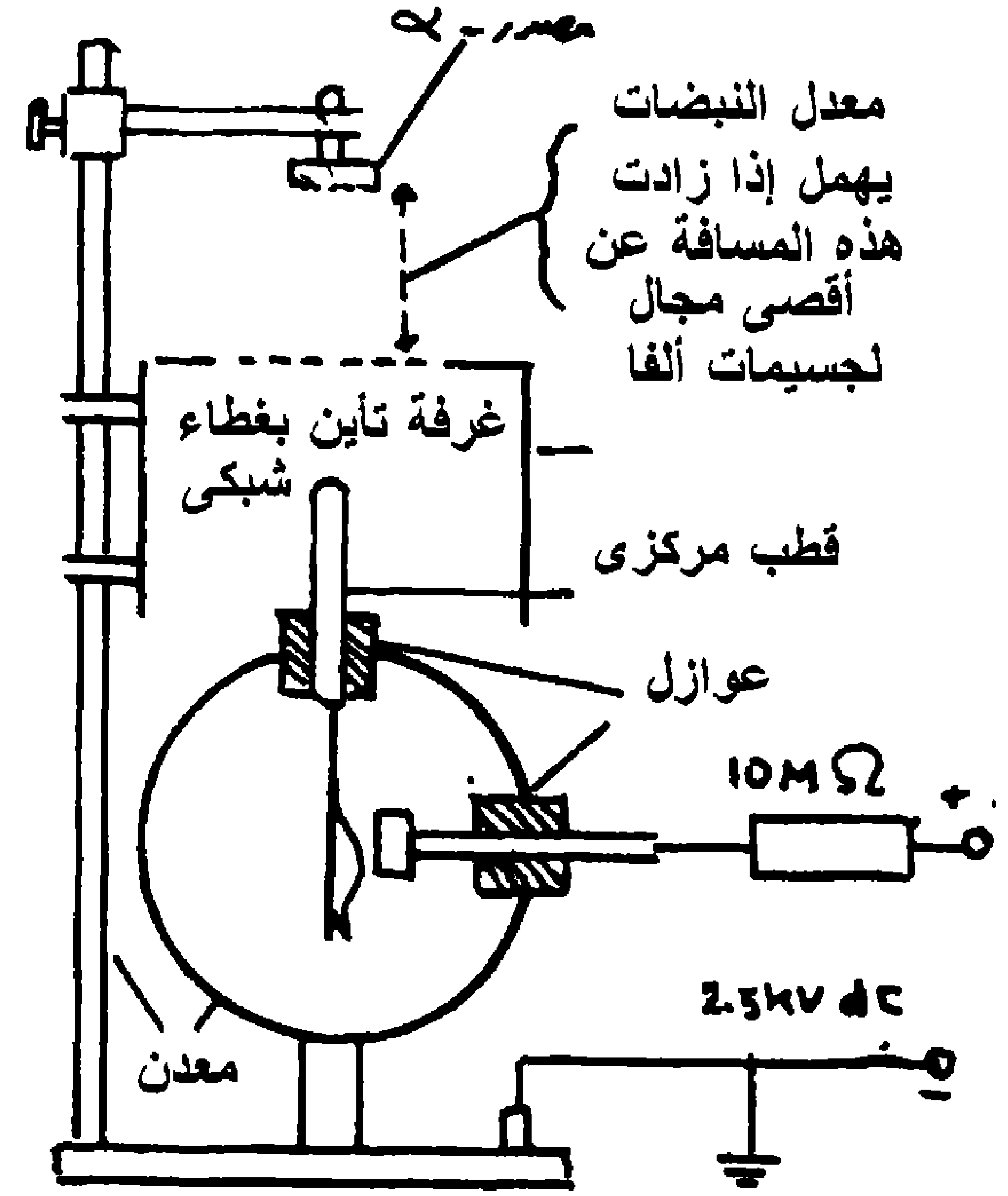
وأداء التخلص من الشحنة ستمر كما سبق. الورقة، لذلك، تنبض او تضرب بالمعدل الذى يـتوقف علـى قيمة تيار التأين. تيار التأين بالتالى يكون التحكم فيه بواسطة نشاط المصدر وفرق الجهد بين القطب المركزي وحوائط غرفة التأين وظيفة حدية المقاوم ($10\ M\ \Omega$):

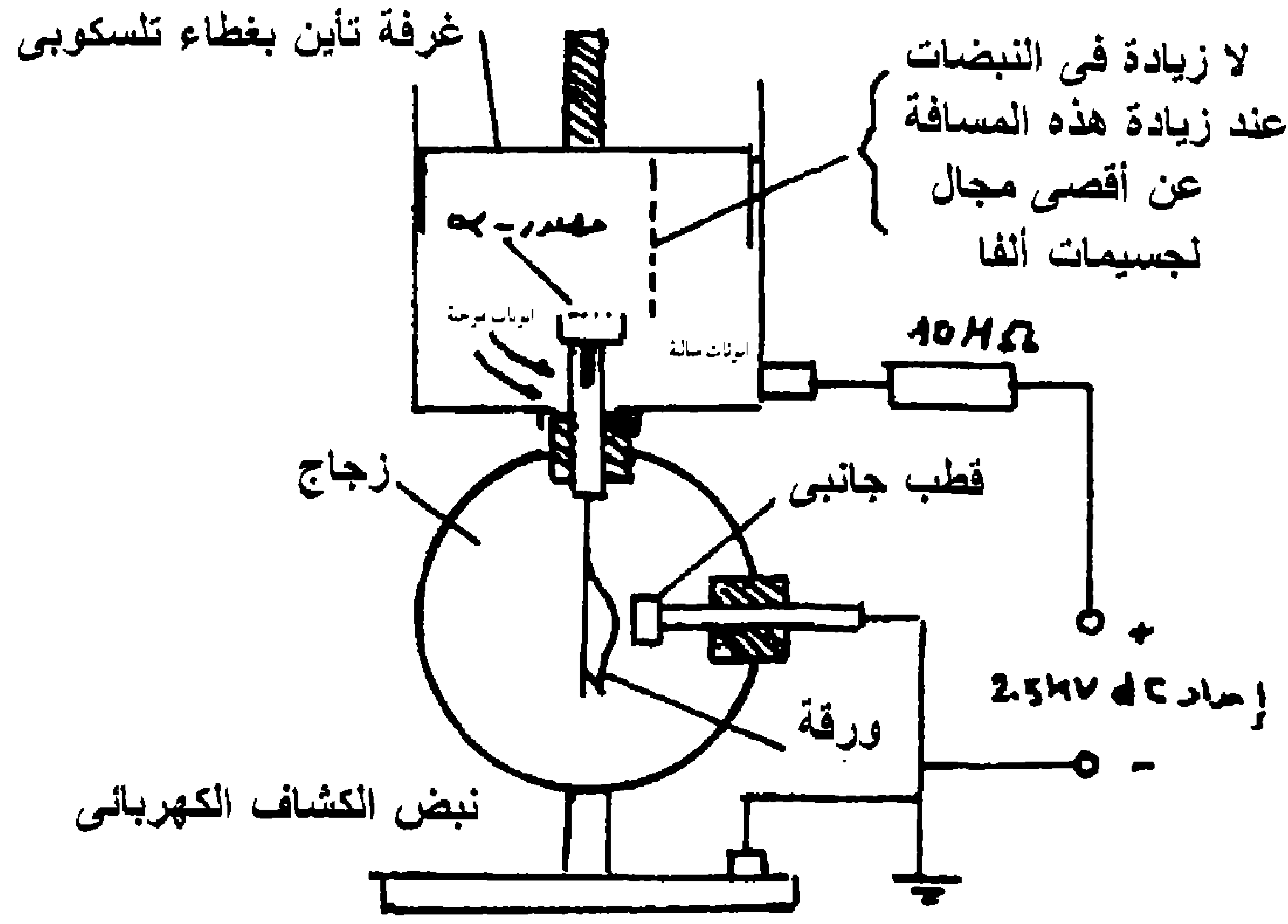
مـن المهم ملاحظة أن المقاوم العالى بمعدل($10\ M\ \Omega$) أو التى يوضع دائما بين المصدر خـالى الجهـد وكاشف الاشعاع هذا يخدم الغرضين لحماية المستخدم من الصدمات والورق مـن الـتلف. ($10\ M\ \Omega$) قـد تـبدو كـبيرة، ولكـن يجـب التذكرة أن هذه صغيرة مقارنة بمقاومة الهواء المؤين فى الغرفة وبالتالى فإن تأثيرها قليل على قيمة تيار التأين.

جـ - لدراسة مجال جسيمات ألفا فى الهواء:

To Investigate The Range Of Alpha Particles In Air

الـشكل (١١/ ١) يوضـح نوعين مختلفين من طرق استخدام مقياس الشحنة بالنبضات لقياس المجال المحدد لجسيمات ألفا فى الهواء طبقا لنوع الجهـاز المستخدم.





شكل (١/١١) بحث مجال جسيمات ألفا فى الهواء

المصادر المناسبة لأشعة ألفا (α) هى الراديوم — ٢٢٦، البلوتنيوم — ٢٣٩.
معانى الأرقام المرتبطة بهذه الأسماء سيتم شرحها فى الفصل التالى .

فى الواقع المصدر المعزول للراديوم — ٢٢٦ يبعث كلا من β ، Υ وكذلك إشعاع ألفا، ولكن جسيمات ألفا فقط تنتج تأثير يمكن قياسه (Measurable) فى غرف التأين كما سنرى. كل المصادر النشطة يجب دائما تداولها باستخدام الكلاب ولا يتم توجيهها نحو المستخدم أو أى شخص آخر، وعند عدم استخدامها تعود إلى وعاء الحفظ المتاح.

الطريقة رقم (١).

يتم تثبيت المصدر مع قطب مركزى، ووضع غرفة التأين ذات غطاء الكشاف الكهربائى (Electroscopiclid) فى مكانه فوقها. يتم توصيل وحدة تسخين كهربى (e. h. t) كما هو موضح والضبط عند ٢,٥ كيلو فولت وتشغيل زر التوصيل . الهواء يصبح متأين بواسطة جسيمات ألفا، والأوراق تبدأ النبض للأسباب التى تم شرحها فى التجربة السابقة. وإذا بدأنا بالغطاء المنزلق قريبا من المصدر، فإن جسيمات ألفا (α) يمكن أن تسير مسافة قصيرة جدا فقط قبل أن تفقد قوة تأينها. إجمالى عدد الأيونات التى تم الحصول عليها سيكون عندئذ صغيرا ومعدل النبض يبطأ.

يتم رفع الغطاء فى خطوات ٥ ملمتر وفى كل وقت يتم قياس معدل النبضة بالعدد وحساب الوقت بمساعدة ساعة ميقاتية. أقصر مسافة التى يصل فيها معدل النبض أقصى قيمة سيكون مساويا تقريبا لمجال جسيم ألفا فى الهواء. أفضل طريقة للحصول على المجال هو بتوقيع مخطط لمعدل النبض مقابل المسافة بين المصدر والغطاء.

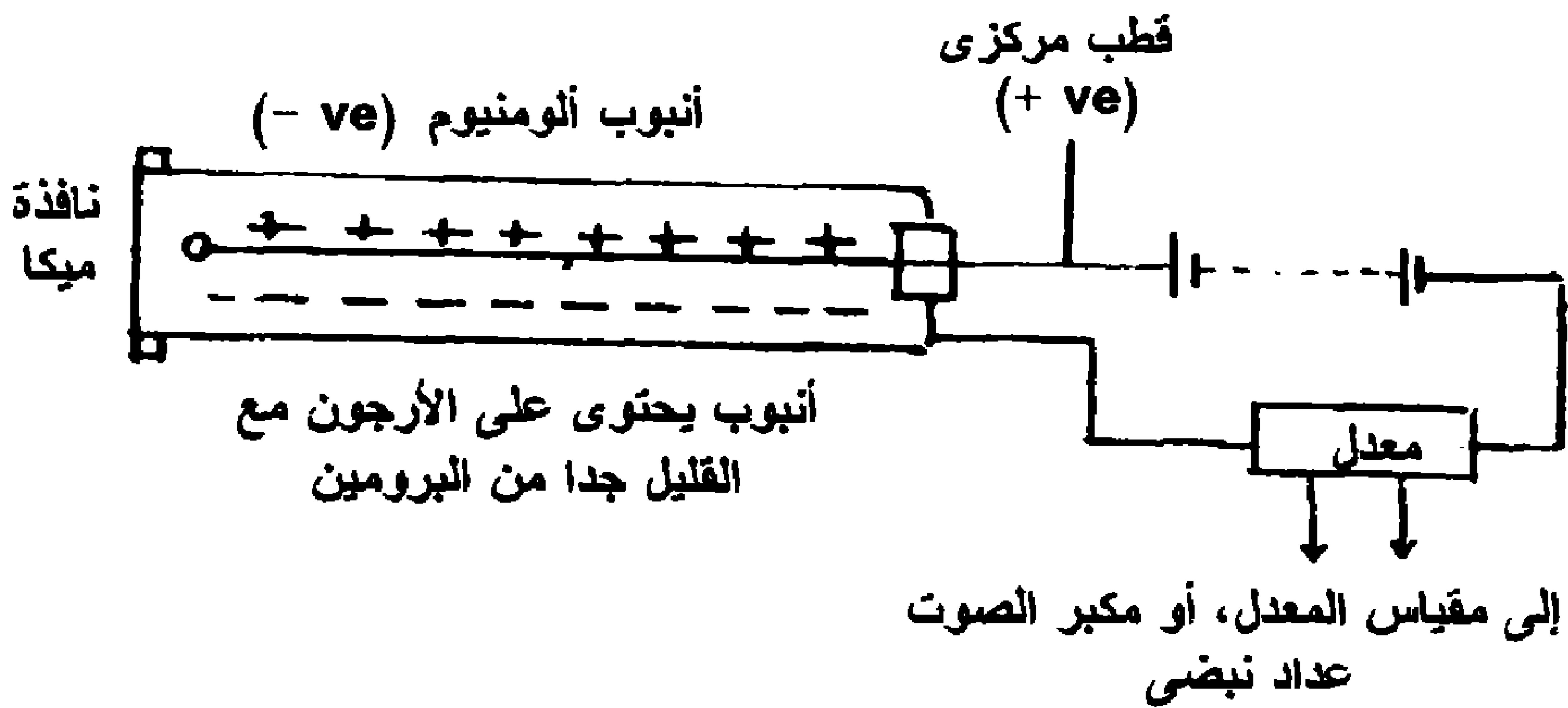
الطريقة رقم (٢)

فى هذه الطريقة، تستخدم غرفة التأين بسقف من شبك السلك ويوضع المصدر فوقها. يتم توصيل الغرفة خلال حامل الغرفة إلى الطرف السالب لوحدة التسخين الكهربى (e.h.,t) والتوصيل أرضى، بينما القطب الجانبى (Side Electrode) يتم رفعه إلى ٢,٥ كيلو فولت خلال شبك السبك (Gauze) سيكون معدل النبض عاليا لأن مسار جسيم ألفا يمتد نحو داخل الغرفة. مع رفع المصدر بمسافات صغيرة متتالية فإن معدل النبض ينخفض ويصل إلى الصفر عندما تصل المسافة من المصدر إلى الشبك مساوية تقريبا لمجال جسيمات ألفا.

هـذه التجـربة يمكـن أن تـستخدم كذلك لإظهار أن جسيمات ألفا تم امتصاصها تماما بواسـطة قطعـة مـن الـورق أو رقـيقة مـن لفيفة الألومونيوم. المصدر يتم وضعه فوق الشبك مباشرة ويلاحظ أن النبضات يمكن أن تتوقف عند حشر الورقة او شريحة الألومونيوم بين المصدر والشبك.

د–أنبوبة جيجر–مولار: The Geiger– Muller Tube :

هـذا شـكل خاص لغرفة التأين والتى تعمل عند ٤٠٠ فولت أو أكثر طبقا للعمل شكل (١/١٢).



شكل (١/١٢) عداد جيجر – مولار

الـنوع المـستخدم عادة فى العمل الأولى يتكون من أنبوب ألومونيوم الذى يعمل كقطب سـالب بيـنما الـسلك أسـفل المركـز يعمـل كقطب موجب الغاز داخل الأنبوب يتكون من الأرجون عند ضغط منخفض بمساعدة قليل جدا (Trace) من البروم.

نافـذة رقـيقة مـن الميكا عند الطرف تسمح بدخول الجسيمات النشطة أو الكم الضوئى لأشـعة جامـا (Gamma Photons) . فـى حالة دخول أحد هذه الأنبوب فإنها تسبب تأين الغاز فى الداخل.

الفائـدة الرئيـسية لأنـبوب جيجـر مـولد عـن غـرفة الهـواء العادية هو أنه مع الوقت الإلـيكترونات من عملية التأين تصل إلى القطب المركزى (Central Electrade)، وهى تتحـرك بـسرعة تحـت تـأثير الـتدرج العـالى فـى الجهـد الـذى يمكن أن يخلق غمر من الأيونات الزائدة بالتصادم. هذه العملية لتضخيم الغاز كما تسمى تزيد حساسية الأنبوب،

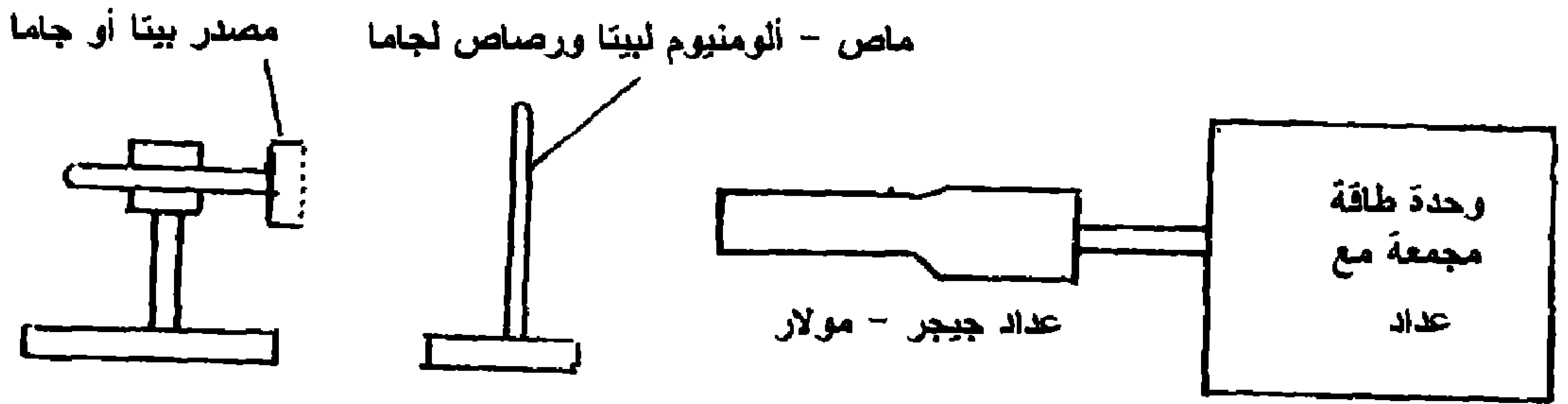
بما يمكنه من تسجيل دخول جسيمات بيتا والكم الضوئى لجاما (Photons of γ).
والذى بمفردهم إنتاج زوجين – أيون لكل سنتيمتر لمسارهم أقل كثيرا عن ما تفعله جسيمات الفا (α).

النبضات من الأنبوب يتم تكبيرها واستخدامها لتشغيل أى تجهيز لتسجيل المعدل. الأول يعد ويسجل النبضات على أنابيب نيون خاصة بينما لآخر يقيس معدل وصول النبضات على ميكرو أميتر (Microammeter) معاير بعدات فى الثانية (أو ٥فى الدقيقة)، عادة يتم إستخدام مكبر صوت الذى يبين بالسمع النبضات بسلسلة من الطقطفات.

كلا من بذبات إبرة عداد قياس الدوارن (Rotameter) والطقطقات الغير منتظمة من مكبر الصوت تكون هو بيان واضح للطبيعة العشوائية للتحلل أو تآكل المواد المشعة.

هـ - دراسة امتصاص أشعات بيتا بواسطة الألومنيوم:

جسيمات بيتا تتلف كثيرا فى الطاقة، حيث بينما بعضها يتم (امتصاصه بسهولة)، إلا أن معظم ذوى الطاقة العالية • Mast Energetic ones) لهم مجال طويل جدا فى الهواء. لذلك، فإننا نجد أنه من المناسب دراسة امتصاصها فى بعض المجالات الأكثر كثافة مثل الألومنيوم، بخلاف فى حالة الهواء شكل (١/١٣)



شكل (١/١٣) بحث إمتصاص جسيمات بيتا وإشعاع جاما فى الألومنيوم والرصاص

للأسباب التى سبق شرحها، فإن عداد جيجر – مولار هو أفضل كاشف للاستخدام ونحن سوف تستخدم مصدر استرنشيوم – ٩٠ الذى يعطى جسيما بيتا شديدة الاختراق.

يتم توصيل أنبوب جيجر – مولار بوحدة طاقة مشتركة ومعداد (Scaler) وضبط الفولت إلى القيمة الموصى بها للأنبوب المعين المستخدم مع توصيل التيار مع المعداد

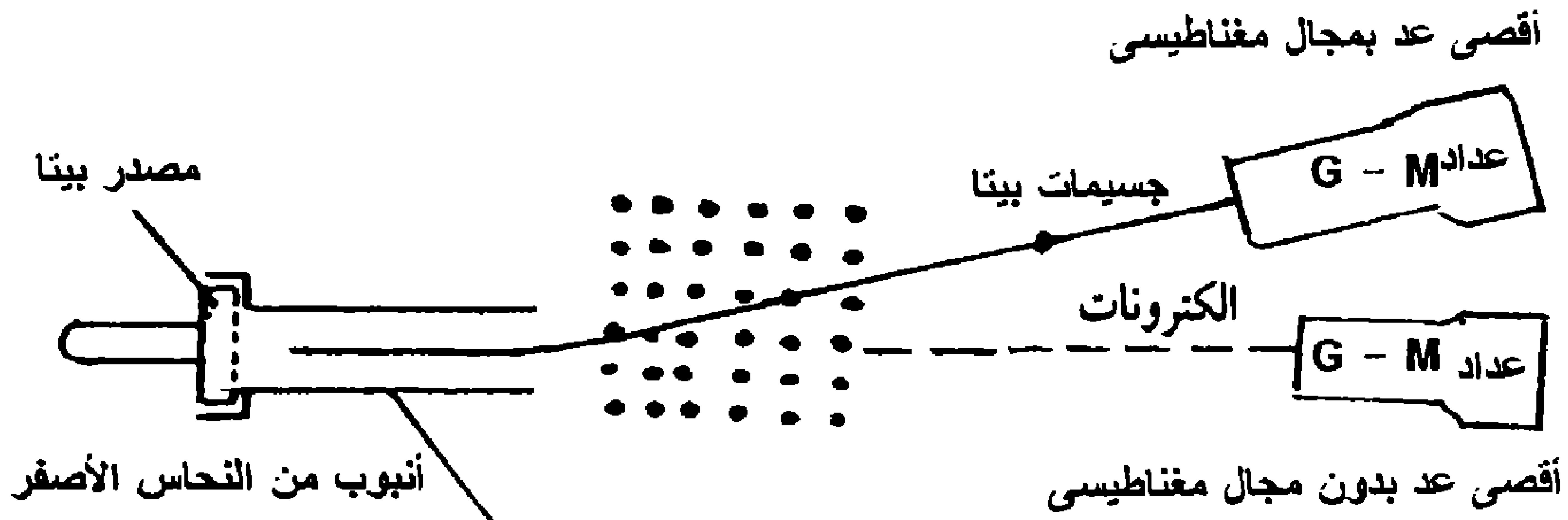
والبدء فى أن يصبح ساخنا فإنه يلاحظ أنه يتم تسجيل عد عشوائى ويأتى من مادة نشطة فى الأرض والمجالات المحيطة القريبة مع ما يسمى بالإشعاع الكونى (**Comic Radiation**) الذى يخترق جو الأرض من الفضاء الخارجى.

خلفية العد يتم توقيته خلال فترة زمنية لا تقل عن دقيقتين وبعد ذلك وضع المصدر على مسافة قريبة من نافذة النهاية للعداد. الآن المعدل العالى للعد الذى يتم الحصول عليه يتم قياسه كما سبق، وعند هذه المرحلة يكون الجدير بالملاحظة أن معدل العد نادرا ما يتأثر فى حالة حشر قطعة من الورق بين الأنبوب والمصدر.

ماصات الألومنيوم ذات السمك المتزايد حاليا يتم إيلاجها على التوالى بين الأنبوب والمصدر وكل مرة يتم تسجيل معدل العد (**Count Rate**). فقد وجد أن سمك الألومنيوم بعدة مليمترات يكون مطلوبا قبل وصول معدل العد إلى خلفية القيمة الأصلية.

و – لإظهار أن جسيمات بيتا تنحرف بواسطة المجال المغناطيسى :

مصدر بيتا الذى يشبه الذى استخدم فى التجربة السابقة يتم وضعه فى انبوب من النحاس الأصفر (**Brass**) أمامة لاحتواء جسيمات بيتا فى شعاع ضيق إلى حد ما. الشعاع يدخل عداد جيجر – مولار ومعدل العد يتم تسجيله شكل (١/١٤).



شكل (١/١٤) جسيمات ألفا يمكن أن تنحرف بالمجال المغناطيسى

يتم عندئذ تعليق مغناطيس قوى رأسيا قرب نهاية أنبوب النحاس الأصفر بحيث ان المجال المغناطيسى يتم توجيهه إلى أعلا وعموديا على مسار جسيمات بيتا. يسبب انحراف الجسيمات، فإن معدل العد يهبط. المسار المنحرف للجسيمات يمكن تعيينه بتحريك الأنبوب لأحد الأجناب حتى زيادة معدل العد إلى الأقصى.

باستخدام قاعدة فليمنج – اليد اليسرى يمكن توضيح أن جسيمات بيتا تسلك نفس الطريق مثل أشعة الكاثود من ذلك يمكننا التأكد من أنها تحمل شحنة سالبة.

ز – للدراسة خواص إشعاع جاما :

(١) الامتصاص:

باستخدام الجهاز الموضح في الشكل (١٣/ ١) مع مصدر من الكوبالت – ٦٠ الذى يوفر أشعات جاما عالية الطاقة، فقد وجد أن سمك الألومنيوم الذى أوقف جسيمات بيتا له تأثير مهمل على إشعاع جاما، وأن سمك من الرصاص ٢ سم أو ٣ سم يكون مطلوبا قبل خفض معدل المعد من أشعة جاما عالية الطاقة إلى قيمة منخفضة جدا.

٢– تأثير المجال المغناطيسي:

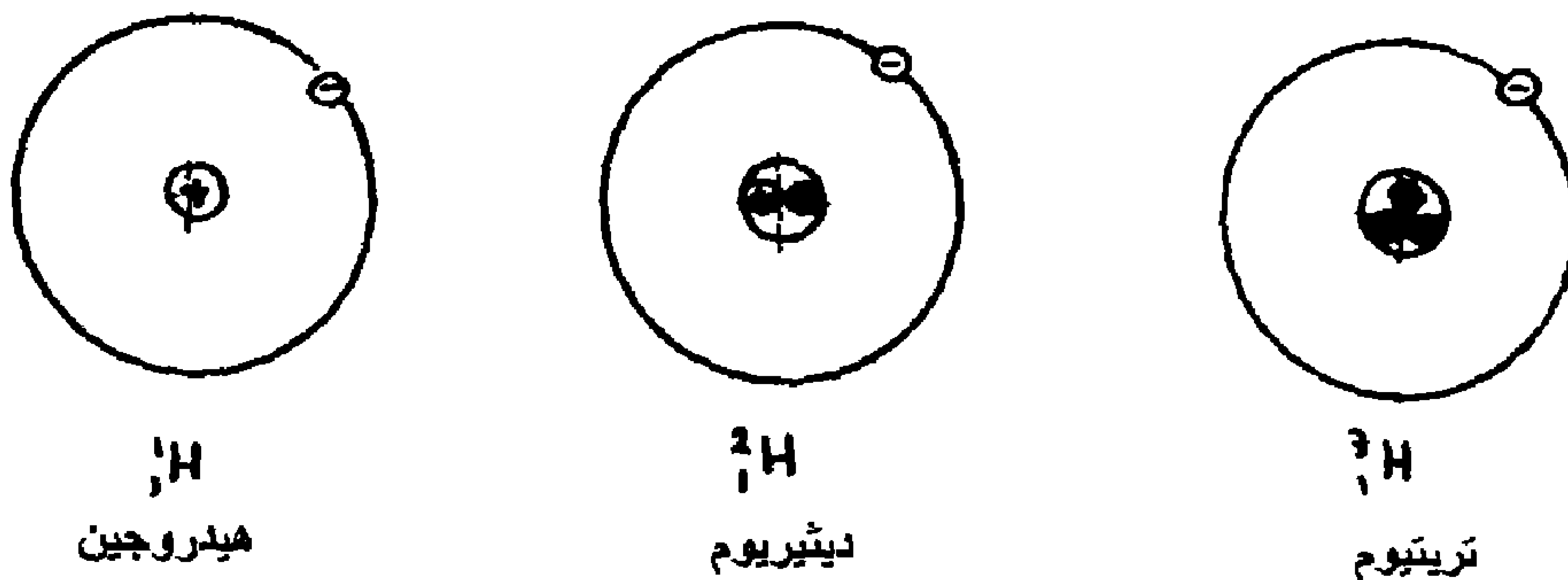
حتى فى حالة استخدام أقوى مجال مغناطيسى متاح فقد وجد أنه لا يحدث أى انحراف لأشعة جاما – هذا ويبين أن أشعة جاما لا تحمل أى شحنة كهربية مثل جسيمات ألفا وبيتا.

٧ – ظهور الأفكار نحو البناء الذرى:

بنهاية القرن التاسع عشر كان مفهوم أن الذرات جسيمات لا تنقسم بدء فى التعثر. دراسة أشعة الكاثود، والإشعاعات الموجبة والنشاط الإشعاعى أوضحت أن الذرات تحتوى جسيمات ذات شحنات كهربية موجبة وسالبة. المشكلة الرئيسية أصبحت الآن هى محاولة وجود كيفية تنظيم تلك الجسيمات داخل الذرة. وكان آخر هذه المحاولات عندما أظهر رزرفورد بالتجارب أن الشحنة الموجبة للذرة تكون مركزة فى نواة صغيرة فى المركز.

طريقة أنبوب التفريغ لثومسون لفصل النظائر تم تطويرها بواسطة فرانسيس أستون وفى عام ١٩١٩ صمم جهاز يسمى (**Mass spectrograph**) الذى مكنه من وزن الذرات بدقة شديدة. حيث تم اكتشاف عدة مئات من النويات (**Nuclide**). وكلمة نوية (**Nuclide**) تشير إلى أنواع الذرات، ولذا فإنه مصطلح يعطى كل النظائر للعناصر المستقلة.

الهيدروجين له ثلاث نظائر (**3 Tsotopes**) شكل (١/١٥)



شكل (١/١٥) نماذج ررزموزد يوهر للنظائر الثلاث للهيدروجين

بالإضافة إلى الهيدروجين العادى يوجد الديتيريوم (الهيدروجين الثقيل)، الذي له ينوترون واحد في النواه، والتريتيوم الذى له اثنين. كل الثلاث نظائر للهيدروجين تحتوى على بروتون واحد في النواه، وكل له نواه مدارية واحدة. تسمى نواه الهيدروجين البروتون. نواه الديتيريوم تسمى (**deuteron**) . حككلا من البروتونات والديوترونات تستخدم كمقذوفات عالية الطاقة في معجلات الجسيم والتى تستخدم بغرض تحطيم نواه الذرة.

أ – العدد الكتلى، الرقم الذرى، رموز النويات.

Mass Number, Atomic Number, And Nuclide Sympols

إجمالى عدد البروتونات والنيوترونات في النواه هو العدد الكتلى (**Mass Number**) ويرمز له بالرمز (**A**).

يعرف الرقم الذرى (**Atomic N o**) بأنه عدد البروتونات ويرمز له بالرمز (**Z**).

لذلك إذا كان رمز عدد النيوترونات هو **N** يكون

$A= Z+ n$.

نظائر العنصر هي ذرات التي لها نفس الرقم الذرى ولكن رقم كتلي مختلف (أى عدد النيوترونات مختلف) تستخدم الرموز الكيمائية لتمثيل مختلف النويات، ولكن مع إضافة رمز علوى ورمز سفلي لكل من العدد الكتلى (**A**) والرقم الذرى (**Z**) على التوالى.

لذلك نظائر النيون الاثنين يرمز لهم $^{20}_{10}Ne$ ، $^{22}_{10}Ne$ نظائر الهيدروجين ^1_1H ^2_1H ^3_1H ، ونظائر الكلور $^{35}_{17}cL$ ، $^{37}_{17}cL$

عند مناقشة النظائر فقد جرت العادة على كتابة العنصر يليه مباشرة الرقم الكتلى مثل 12-c 14-cK. من الجدول نلاحظ أن الرقم الذرى للكربون (Z) هو ٦، لذلك فإن الوصف الكامل لنظائرين هو ${}^{14}_{6}C\,{}^{12}_{6}C$ من هذه الرموز يمكن أن نقول أن 12-c له 6 نيوترونات فى النواه، 14-6 له 8 نيوترونات فى النواه

ب – وحدة الكتلة الذرية وطاقة الرباط:

Atcmic Mass Unit Anol Binding Energy

العدد الكتلى للعنصر (Mass Number) والذى يعنى به عدد البروتونات والنيوترونات يجب ألا يتداخل مع وحدة كتلة الذرة (atomic Mass) والتى تساوى ($1{,}66 \times 10^{-24}$ جرام) منذ عام١٩٦١ أتفق على استخدام ١÷ ١٢ من كتلة النظير الأكثر وفره للكربون (${}^{12}_{6}C$) كوحدة لقياس للكتلة الذرية هذه الوحدة تسمى الوحدة العيارية للكتلة الذرية ويرمز لها بالرمز (U) (Unifed Atomic Mass Unit—U).

البروتونات والنيوترونات كل على حدة له نفس الكتلة تقريبا. ولكن عند جمعها فى نواة الذرة فإن مجموع كتلتهم يكون دائما أقل عن مجموع كتلهم كل على حدة . الفرق يسمى (Mass Defect) ويمثل كتلة طاقة الرباط التى تمسك الجسيمات فى النواه مع بعضها.

جـ – الرموز للبروتونات، النيوترونات والإليكترونات فى النواه:

دعنا نوجز ما تناولناه فى الآتى:

الإليكترون أو جسيم بيتا يمتلك الوحدة الأساسية للشحنة الكهربية (e -)

البروتون أو نواه الهيدروجين يمتلك الوحدة الأساسية للشحنة الكهربية (e +).

الرقم الذرى (Z) للنواه يساوى عدد البروتونات التى فى النواة وبالتالى فإنه يمثل كلا من الشحنات الأساسية (+e) وعدد شحنات الإليكترون (-e) فى الذرة المتعادلة.

البروتون له رقم كتلى (Mass Number) واحد وشحنه (صفر) وبذا فإنه يرمز له ${}^{1}_{0}n$

الإليكترون أو جسيم B له كتلة مهملة وشحنه (-e) لذلك، فإنه يرمز له بالرمز ${}^{0}_{-1}e$

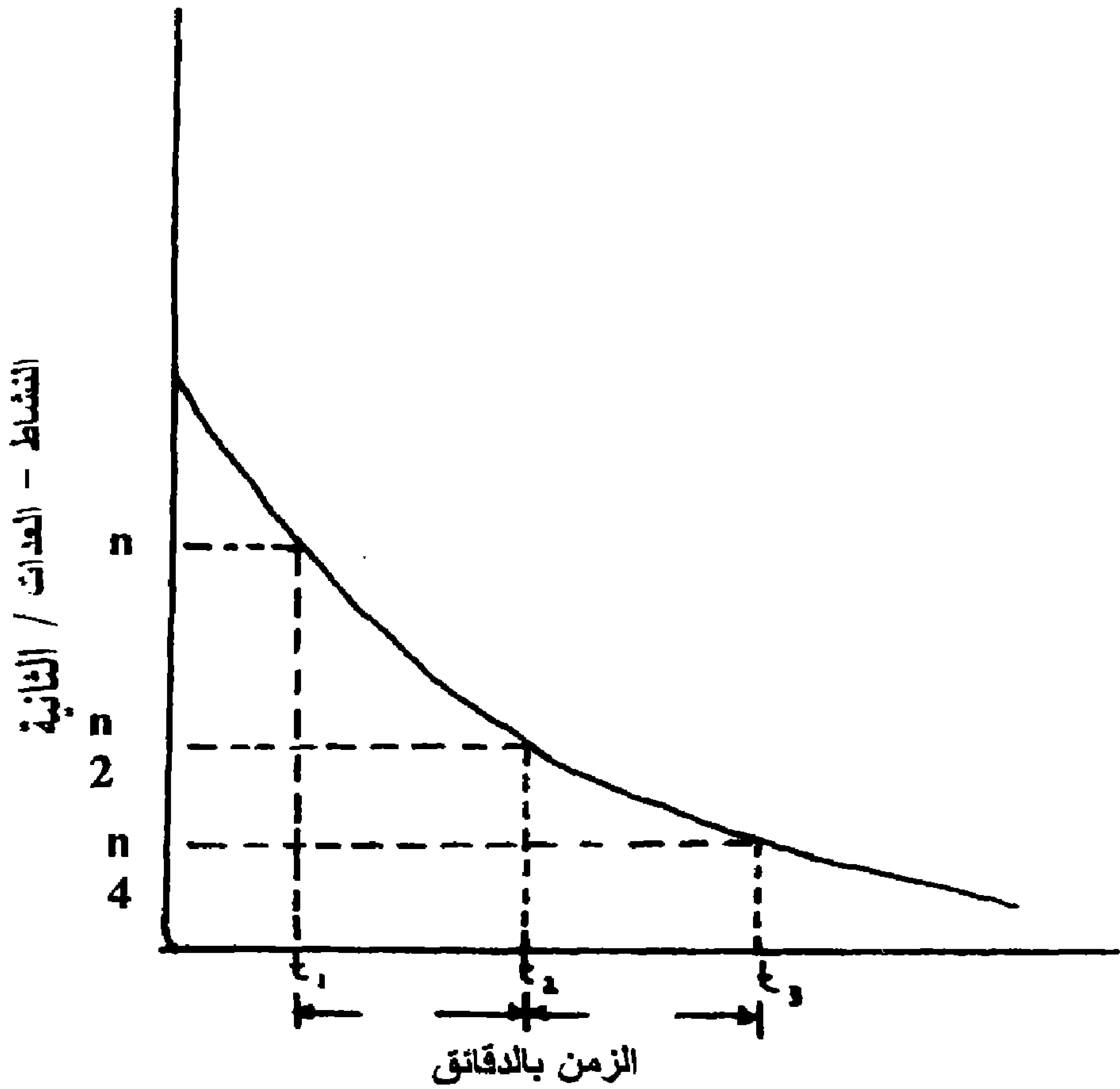
الفصل الثانى

١ - الأبحاث نحو انشطار النواة: (Spliting of The Nucleus) :

فـى عـام ١٩٠٣ كـون كـلا مـن رزرفورد وسودى فكره أن النشاط الاشعاعى هو نتيجة التآكل (والتحلل) الفورى للذرة وذلك أثناء إبتعاثها جسيم ألفا (α) أو جسيم بيتا (β). فـى نفـس الوقت تتحول الذرة إلى عنصر آخر، والذى مشع (Radioactive) وهذا بالتالى يـتحلل ليـصبح شـئ آخر وهكذا. هذه التغيرات المتتالية تعرف بسلسلة التحول. الراديوم والبلوتونـيوم الـذي اكتـشف بواسـطة كـوري هو ببساطة وصلتين فى سلسلة التحول التى تبدأ باليورانيوم — 238 وتنتهى بالنظر المستقر للرصاص. فمثلا، الراديوم يشع جسيمات ألفـا ويـتحول إلى غـاز ثقـيل يـسمى رادون (Radon) الـذى بعد إنبعاث (Emmitting) جـسيمات بيـتا وجسيمات ألفا يصبح بلونيوم (Plonium) . عندما يطلق البلونيوم كذلك جسيم ألفا يصبح نظير مستقر من الرصاص.

٢ – نصف العمر: Half life

إنـه لـيس مفهـوما مـا الذى يسبب لذرة معينة أن تتفكك أو تتحلل فى لحظة معينة. النـشاط عمـوما عشوائى ولا يوجد اختلاف ما إذا كان العنصر المشع مستخدما فى الحالة النقـية أو بالاتحاد الكيمائى مع شئ آخر. كذلك، فإن التسخين أو التبريد ليس له تأثير علـى معدل التحلل (Decay). لقد أظهرت التجارب أن كل عنصر مشع له معدل محدد للـتحلل والـذى يمكـن تمثيله تجاوزا بزمن نصف العمر (Halflife Peroid). زمن نصف العمـر للمـادة يعـرف بأنـه الـزمن الـلازم لـتحلل نصف كمية أي مادة. الراديوم نفسه له نـصف عمـر ١٦٢٠ سنة، هذا يعنى أنه عند البدء بجرام واحد من الراديوم عندئذ نصف جـرام مـنه سـوف يـتم تحلله في ١٦٢٠ سنة. وبعد ١٦٢٠ سنة أخرى فإن النصف الذى بقـى سوف يتحلل تاركا ٢٥ جرام وهكذا. نصف العمر يختلف كثيرا من عنصر إلى آخر. فمثلا نصف العمر للرادون هو أربعة أيام. نظائر مشعة أخرى لها نصف عمر قصير يتراوح من عدة ساعات إلى أقل من ثانية. وفى الاتجاه الآخر نرى أن اليورانيوم — 238 الموجود فـى الطبـيعة مـصدر كـل السلسلة التى تشمل الراديوم له نصف عمر ضخم ٤,٥ × ١٠ ^٩^ سنة.



شكل (٢/١) منحنى التحلل للمادة المشعة

يوضح منحنى تحلل النظير مشع تم بتوقيع مقياس المعدل (Ratemeter) المستخدم لقياس النشاط خلال فترة زمنية حوالى ثلاث أنصاف العمر. من هذا المخطط يمكن إيجاد نصف العمر كالآتى:

إذا كان معدل العد (Count Rate) هى (n) عند وقت ما (t_1) وهبط إلى ($\frac{n}{2}$) عند وقت (t_2) ، عندئذ فإن نصف العمر يكون ($t_2 - t_1$).

بالمثل إذا كان معدل العد هبط إلى ($\frac{n}{4}$) عند وقت (t_3) فإن نصف العمر يكون ($t_3 - t_1$).

التحلل الإشعاعى يستمر بالمعدلات التى لا يمكن أن تتغير بأى وسائل طبيعية أو كيمائية. بالنسبة لعنصر ما مشع يكون معدل التحلل فى أى وقت يتناسب فقط مع عدد النويات (Nuclie) (N) الموجودة. التغير فى عدد الذرات مع الوقت يرمز له بالمعادلة

$$- \frac{dn}{dt} = \lambda N$$

حيث λ هو ثابت الذى هو من خواص العنصر الذى يتحلل ويسمى ثابت التحلل.

عندما تكون t = صفر، فإن القيمة الأولية هى No عندئذ

$$\lambda = - \frac{20303}{t} \log \frac{N}{N0}$$

و $N = N0^{-\lambda t}$

$$\lambda = \frac{\text{عدد الذرات التى تتحلل فى وحدة الوقت}}{\text{عدد الذرات النشطة الموجودة}}$$

جدول(٢/١) نصف العمر لبعض العناصر المشعة

العنصر المشع	$T_{1/2}$
Po-212	٣× ١٠ $^{-٧}$ ثانية
Ti-206	٤,٢٣ دقيقة
Mg-28	٢١,٢ ساعة
Th-234	٢٤,١ يوم
u-238	٤,٥ × ١٠ ^{٩} سنة

٣ – قوانين التحلل الإشعاعى (Laws of Radioactive Decay)

لقد اكتشف رزرفورد وسودى قانونين مرتبطين بالنشاط الإشعاعى وذلك من خلال متابعة الدقيقة لتحاليل لنواتج التحلل المختلفة فى سلسلة التحول (Transformation serles) وهى:

(١) عند تحلل عنصر بانبعاث جسيم ألفا (α) فإنه يتحول إلى عنصر بخواص كيماوية تشبه هذه لعنصر سابق بمكانين فى الجدول الدورى.

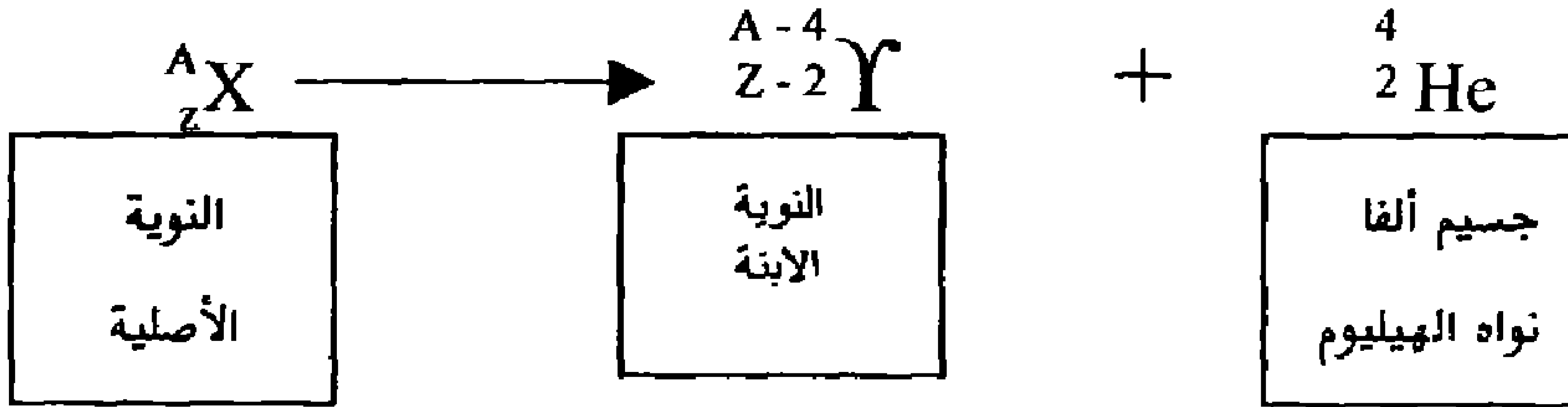
(٢) عند تحلل العنصر بانبعاث جسيم بيتا فإنه يتحول إلى عنصر له خواص تشبه تلك لعنصر فى مكان تالى للجدول الدورى.

تحلل ألفا : (Alpha Decay)

لقد عرفنا أن جسيم ألفا (α) يتكون من اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات. لذلك فإنه عند انطلاق جسيم ألفا من نواته فإنه يفقد اثنين من الشحنات الموجبة أى أن رقمه الذرى (Atomic Number) يقل اثنين، وبالتالى بتحرك مكانيين إلى الخلف في الجدول الدوري. الراديوم كمثال له عدد كتلى (Mass Number) – 226 ورقمه الذرى 88 ويرمز له بالرمز $^{226}_{88}Ra$. عند انطلاق جسيم ألفا منه فإنه يفقد أربع وحدات من الكتلة ويتحول إلى الرادون، والذى له عدد كتلى 222 ورقمه الذرى 86 . $^{226}_{88}Ra$

عموما. إذا كانت النوية الأصلية (X) ذات عدد كتلى (A) ورقم ذرى Z وابتعثت جسيم ألفا لتكوين النوية الابنه Υ. فإنه يمكن التعبير عن العملية بالرموز كالآتى:

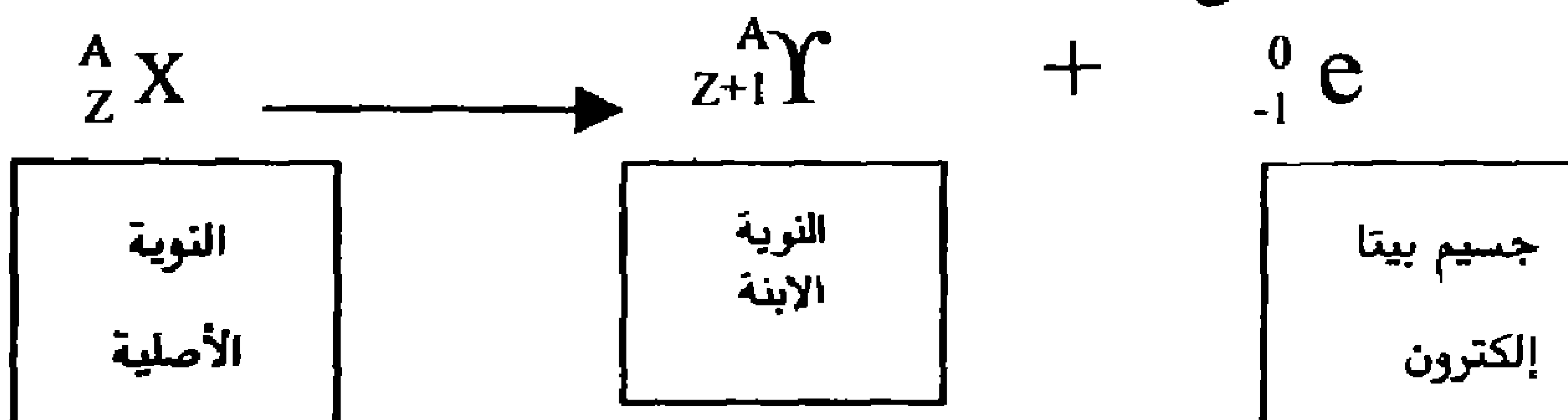
تآكل ألفا:



تحلل بيتا Beta Decay

يبدو أن الإنتاج الفورى لجسيم بيتا (إليكترون) من النواة متربط بالخلق المتزامن لنوع آخر من الجسيمات الدون ذرية (sub - Atomic) التى تسمى (Antineut rions) وإن كانت مناقشة هذا خارج النطاق حالياً، إلا أن النتيجة النهائية هى أن الإليكترون يخلق فى لحظة القذف وفى هذه العملية يتحول النيوترون إلى البروتون. وبالتالى، فإن العدد الكتلى للنواة يظل كما هو بينما تزداد شحنتها الموجبة بواحد كيماويا هذا يتحول إلى عنصر أبعد بمسافة واحدة فى الجدول الدورى. مثال لهذا النوع من التحلل هو النظير المشع للصوديوم $^{24}_{11}N0$. الذى تنبعث منه جسيمات بيتا ويتحول إلى الماغنسيوم $^{24}_{12}Mg$

لذلك فإنه عندما تبعث النواة الأصلية جسيم بيتا ($^{0}_{-1}e$) لتكوين النوية الإبنة Υ فإن هذه العملية يمكن تمثيلها بالآتى:

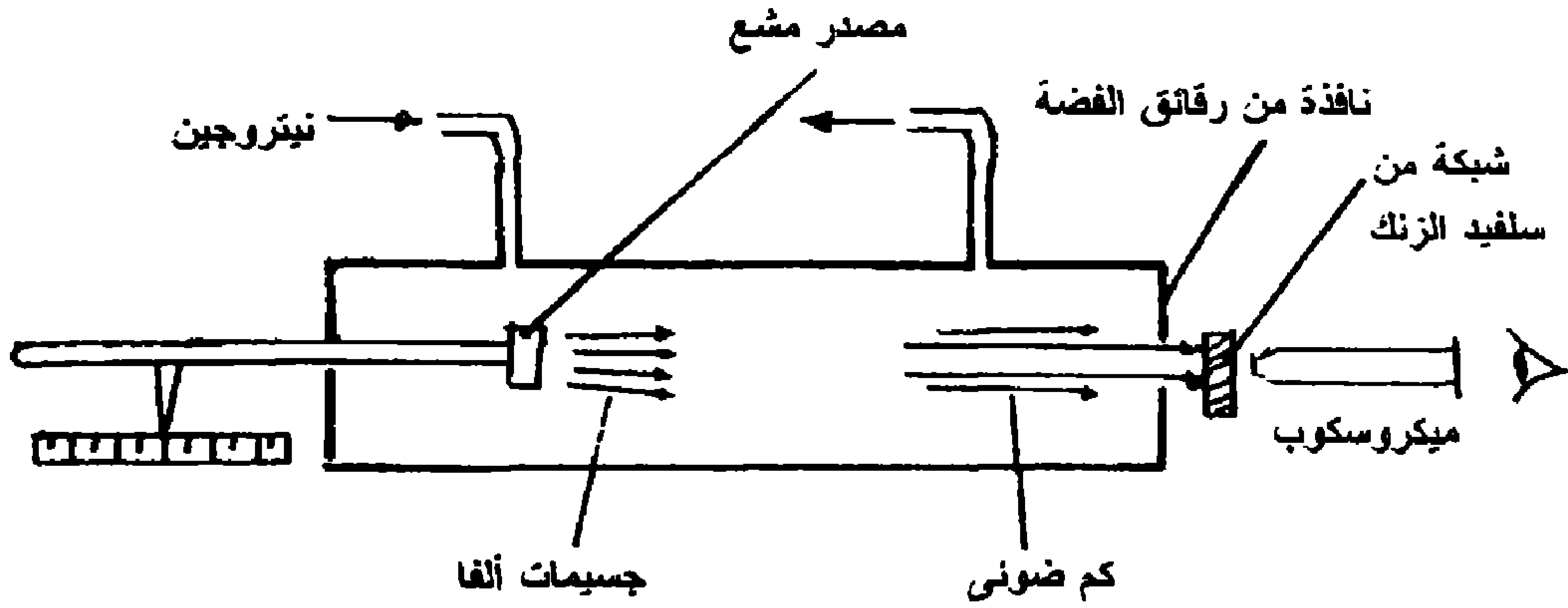


٤ – كيف بدأ رزرفورد أول انشطار للذرة:

بعـد نجـاح العديـد مـن الـتجارب التـى قـام بهـا رزرفـورد ومعاونـيه علـى بعثـره (Scattering) جـسيمات ألفـا بواسـطة الـرقائق (foils) المعدنـية والتى أعطت برهان لا يمكـن إنكـاره عـن وجـود الـنويات الذرية (Atomic Nuclei)، وبدأ رزرفورد في محاولة تـأثير حـرق جـسيمات ألفـا في غـازات مختلفة. أقسام مارسون أنبوب مفرغ محتويا على مـصدر ألفـا وشاشـة (Screen) مـن سـلفيد الـزنك ولاحظ الومضات الناتجة عند تصادم جـسيماتى ألفـا مـع الـشاشة. قـام عـندئذ بـزيادة مسافة الشاشة من المصدر حتى صارت بعـيدة جـداً بالنـسبة لوصـول جـسيمات ألفـا إلـيها. عـندئذ، وعـند إدخـال قلـيل مـن الهـيدروجين فـى الأنـبوب، عاد ظهور الومضات. نظر لأن تلك لم تكن بسبب جسيمات ألفـا، فـإن مارسـون وصـل إلى نتـيجة أنهـا كانـت بـسبب تـصادم نـويات الهـيدروجين (الـبروتونات) التى تم طرقها بواسطة جسيمات ألفا وقذفت إلى الأمام بسرعة عالية كافية للوصـول إلى الـشاشة. الحـسابات المبنـية على القوانين العادية للحفاظ على العزوم وعلى الطاقـة أكـدت هـذه النتـيجة فقـد كانت مثل كره ذات ٤ وحدات كتلة (جسيم – ألفا) متحـركة بـسرعة ١٦٠٠٠ كيلو متر فى الثانية تقريبا وصدمت كرة ذات وحدة كتلة واحد (الـبروتون) ودفعـتها إلى الأمـام بـسرعة حوالى ٢٤٠٠٠ كيلو متر فى الثانية.؟ لقد أعجب رزرفـورد بـتلك الـتجارب البـسيطة وبـدأ فى عمل أبحاث أخرى. فقد اكتشف أنه يمكن استخدام جسيمات ألفا ليس فقط لقذف النواة إلى الأمام ولكن كذلك لشطرها إلى نصفين.

الـشكل (٢/٢) يوضـح الجهـاز المـستخدم وهـو يتكون من أنبوب معدنى محتويا على مـصدر ألفـا الـذى يمكـن التحكم فيه. عند أحد النهاية نافذة رقيقة من الفضة (Foil)، وأنبوبـتين بغـرض إدخـال الغـازات المختلفة. أى جسيمات التى تمر خلال رقيقة الفضة تـسقط على شاشة سلفيد الزنك وومضاتها يمكن ملاحظتها خلال المجهر وحاول رزرفورد أولا الأكـسجين فـى الأنـبوب، ولكـن بـدون نتـيجة، وفـى أى الحالات لم يتوقع قذف نـويات الأكـسجين، ذلـك لأنهـا كانـت أثقل كثيرا عن جسيمات ألفا. ولكن عند إدخال النـيتروجين فـى الأنـبوب ظهـرت ومـضات علـى الـشاشة. قـام رزر فـورد بعمـل بعـض الاختـبارات ووجد أن الجسيمات التى ارتطمت بالشاشة كانت هى البروتونات أو نويات الهـيدروجين. الآن الكمـية الـصغيرة جدا من الهيدروجين المعروف بوجودها فى الأنبوب كملوث كانت كافية لإحداث العدد الكبير من الومضات التى لوحظت. لقد وصل رزرفورد إلى نتـيجة أن الـبروتونات التـى سببت الومضات تمت بطرق نوبات النيتروجين بواسطة

جسيمات ألفا السريعة، فى العملية تحولت نويات النيتروجين إلى نويات الأكسجين. وقد كان هذا اكتشافا مدهشا.



شكل (٢/٢) أثبت رزرفورد أن ذرة النيتروجين يمكن تحللها بالقذف بجسيمات ألفا

لذلك فإنه لأول مرة يتحقق حلم الكيمائيين فى تحويل مادة إلى مادة أخرى. والحقيقة أن رزرفورد لم يحول الرصاص إلى ذهب ولكنه إستطاع فقط أن يغير النيتروجين إلى الاكسجين. وأن كان هذا تحول حاسم فى التقدم العلمى فى مجال أسرار الذرة، والذى مكنت الإنسان من تحويل مادة ما إلى مادة أخرى، والذى يصاحبها شئ ما ذو قيمة كبيرة أفضل من الذهب وهو الطاقة التفاعل النووى الذى حدث فى تجربة رزرفورد للنيتروجين يتم تمثيلها بالآتى:

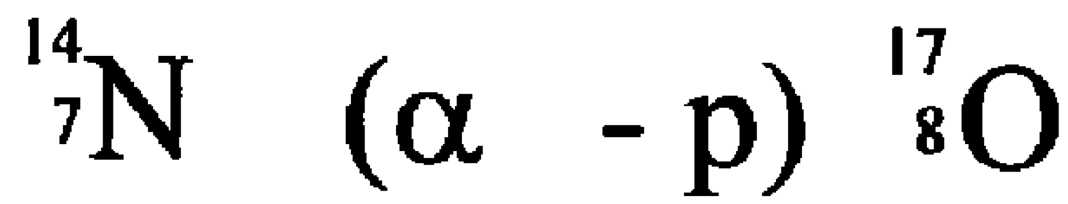


$$ {}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H $$

نواة النيتروجين	نواة الهيليوم جسيم ألفا	نواة نظير الأكسجين	نواة الهيدروجين (بروتون)

وهذه يمكن تفسيرها كالآتى:

نواه النيتروجين المحتوية على سبعة بروتونات وسبعة نيوترونات يتم قذفها بواسطة جسيم ألفا (نواه الهيليوم) المكونه من اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات، مكونه كتلة متجمعة غير مستقرة من تسع بروتونات وتسع نيوترونات. وهذه تقذف بروتون واحد عالى الطاقة وتصبح منقولة إلى نظير الأكسجين بعدد كتلى(Mass number) سبعة عشر. الرمز المختصر المستخدم لهذا التفاعل هى:



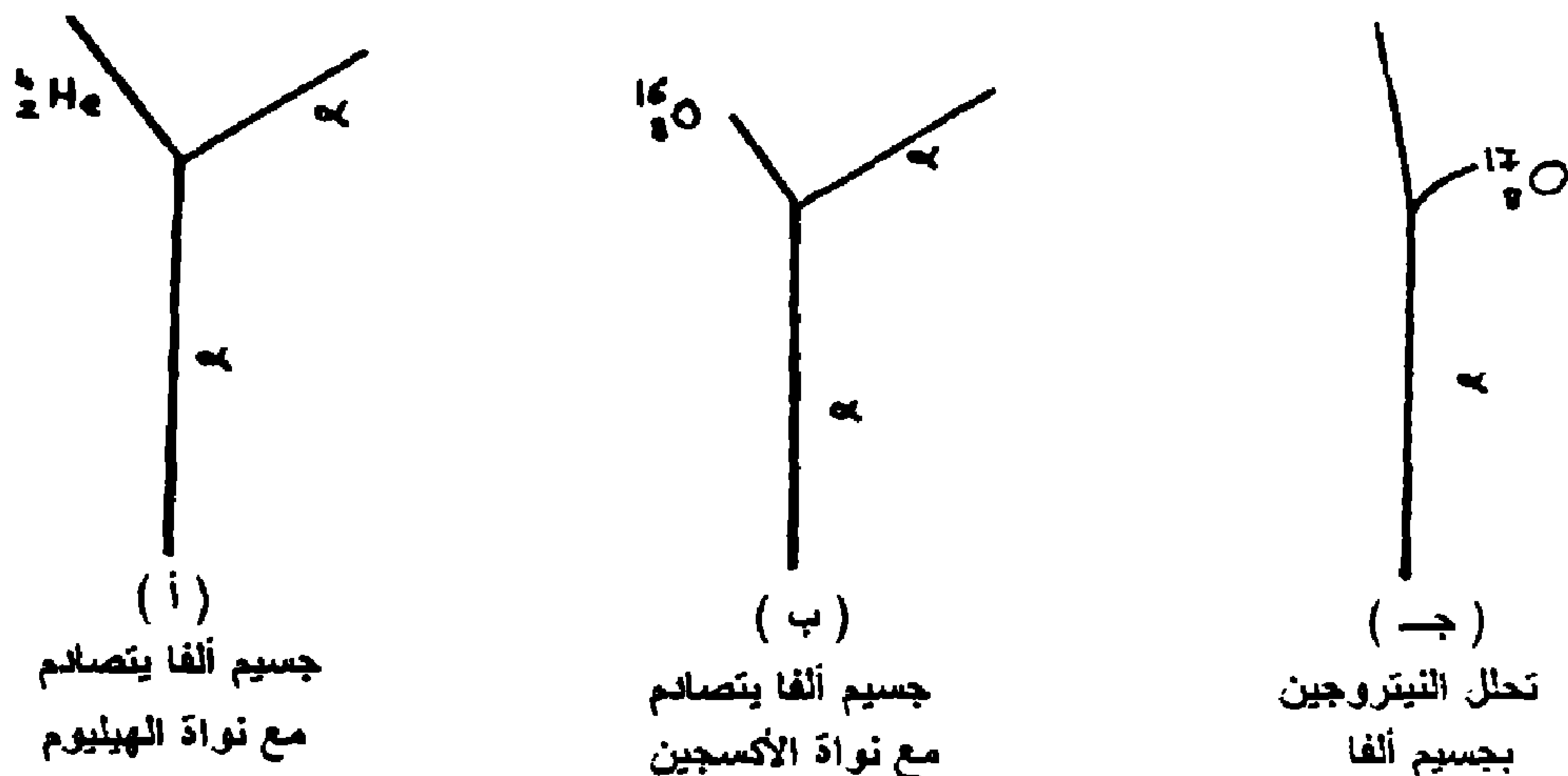
$$^{14}_{7}N \quad (\alpha \quad - p) \quad ^{17}_{8}O$$

بعـد تجربة النيتروجين نجح رزرفورد ورفاقه فى تفكك وتحلل أكثر من عشرة عناصر أخـرى بالقـذف بألفا والحصول على بروتونات سريعة. الحسابات التي تمت نحو مجال هـذه الـبروتونات أظهرت أن لديها طاقات أكبر بكثير عن تلك لجسيمات ألفا. وهذا كان دلـيل قـوى جـدا فـى أن جسيمات ألفا كانت القاذف للتفكك النووى والذى كان السبب فـى انطـلاق الطاقة النووية. لم تكن هذه حالة ارتطام بسيط، حيث جسيمات ألفا بعثت بجـزء مـن طاقـتها إلى الـبروتون، كمـا كـان قـد حـدث عـند مـا قام ماردسن بأول قذف للبروتونات بقذف ألق.

٥ – دراسات غرفة السحاب: (Cloud Chambre Studies)

الظاهـرة المـساعدة لطبـيعة الـتحلل الـصناعى تمت فى عام ١٩٢٥ بواسطة البروفسير (Black Kett) ، الـذى أصـبح رئيـسا للمجمـع الملكى عام ١٩٦٥. قذف (black Kett) جـسيمات ألفـا فـى غرفة السحاب المحتوية على غازات مختلفة وكان قادرا على دراسة عملـيات التـصادم (collisions) العاديـة وكـذلك الـتحلل. الـشكل (٢/٣) يوضـح المـسار العـادى للخط المستقيم لجسيم ألفا الذى تم ملاحظته. ولكن أحيانا يشكل المسار السحابة نهايـة فـى شـكل شوكة. هذا ناتج من واحد من الحالات النادرة عند اقتراب جسيم ألفا قـريبا مـن نـواة ذرة الغـاز التـى تنحـرف خارج مسارها. المسار المثير يكون بسبب إعادة الـتفاف الـنواة (recoiling). ولـذلك، فعند قذف الهيليوم فإن كلا المسارين يكونا تقريبا عـند زاويـة قائمـة ومتـساويان فـى الطـول، كمـا هو متوقع من تصادم جسمين لهما كتلة متـساوية (جسيم ألفا فى نواه الهيليوم). ولكن فى حالة الأكسجين فإن المسار المثير يكون أقصر كثيرا بسبب الكتلة الأكبر لنواه الأكسجين مقارنة بجسيم ألفا.

أكـبر ما حققه بلاكيت هو ملاحظة تأكيد تحلل النيتروجين بقذف ألفا بعد محاولات عديـدة حـصل على صورة فوتوغرافية التى أظهرت مسار البروتون المقذوف عند ترك نواة الـنيتروجين والمـسار الأكثـر كـثافة هـو لـنواة الأكـسجين التـى نـتجت مـن تحلـل نـواة النيتروجين.

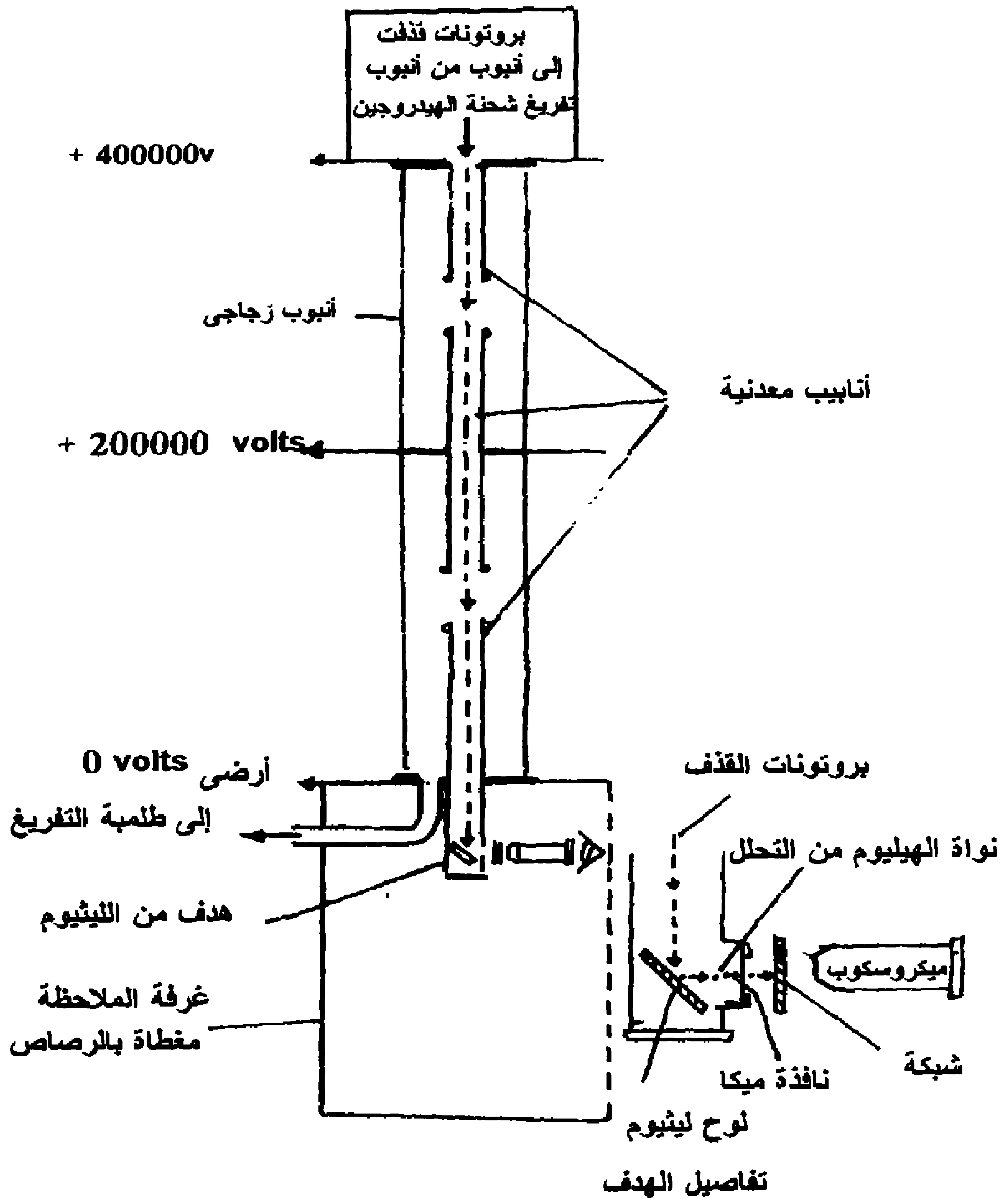


شكل (٢/٣) بعض مسارات غرفة السحاب

٦ – تجربة كوك روفت ووالتون : Cockroft And Walton's Experiment

بنهاية عام ١٩٢٠ كان استخدام جسيمات ألفا لإحداث التحلل النووى قد تم دراسته بكثافة ، وكان الشعور بالحاجة إلى مقذوفات أكثر قدرة على التحطيم.

وقد عمل اثنين من علماء الطبيعة فى معمل (Carendish) وهما جون كوك روفت وإيرنست والتون. بتبنى فكرة الإسراع للبروتونات (Accelerating) فى مجال كهربى قوى واستخدام هذا بدلا من جسيمات ألفا لقذف الذرات. وبتشجيع من اللورد رزرفورد استمرا فى العمل وفى عام ١٩٣٢ قاما ببناء الجهاز اللازم. ويظهر المخطط العام للجهاز المستخدم فى الشكل (٢/٤).



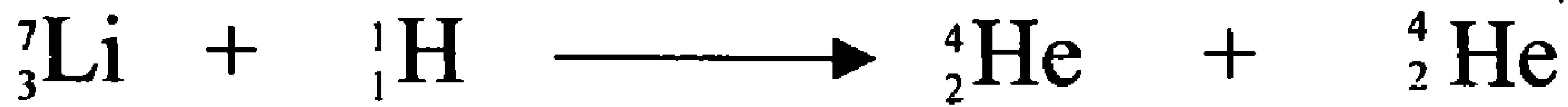
شكل (٢/٤) معجل البروتون لكوك روفت ووالتون

المجـال الكهربى لإسراع البروتونات تم إنتاجه بواسطة ثلاث أنابيب معدنية وضعت فـى صـف واحـد عمودى داخل أنبوب زجاجى مفرغ بطول 2 متر. بواسطة دائرة فوليته ذات الأربـع أضعاف (Quadrupling) مكـونة من صمامات ثنائية (Diodes) ومكثفات (Capacitors) ، تمـت التغذية من محول التغذية من الخطوط الرئيسية الأوسط ٢٠٠٠٠ فلوت بينما السفلى كان أرضى (Earthed)

أحـد أنابـيب تومـسون لتفـريغ الهيدروجين استخدمت كمصدر للبروتون. البروتونات مـنها تم قـذفها إلى لأنـبوب العلـوى، حيث تم إسراعها بواسطة المجال الكهربى القوى بـين الأنابـيب، وأخـيرا مـزج مـن القـاع بـسرعة حـوالى ٨٠٠٠ كـيلو متر فى الثانية هنا اصـطدمت مـع لـوح مـصنوع مـن الليثيوم، حيث بعض التحكم لتسجيل صدمات مباشرة علـى نـوبات الليثيوم سببا لهم الانفجار إلى شظايا. تلك الشظايا التي ثبت بعد ذلك أنها نـويات الهيلـيوم، كـشفت عـن وجـودها بإحداث ومضات على شاشة سلفيد الزنك. لقد اقتـنع كـلا الـباحث أن الومضات لن تكون بسبب البروتونات التى قذفت الليثيوم، ذلك لأن تلـك لـيس لهـا الكافـية لإعطـائهم المجـال الضرورى وكانت الومضات ذات خاصية جسيمات ألفا وليس البروتونات.

بعـد ذلـك نـواتج الـتحلل تمـر إمرارها في غرفة السحاب. المسارات لنوبات الهيليوم الإثنين كان واضحا للرؤية، وهذا أكد النتيجة من التجربة الأصلية.

كمـا سـبق شـرحه، إذا كانـت نـواه الليثـيوم تـتكون مـن ثلاث بروتونات وأربعة من النيوتـرونات. فعـند إختراقهـا بواسـطة الـبروتون فإنهـا تنـشطر لتكوين إثنين من نويات الهيليوم وإثنين من النيوترونات. التفاعل النووى هذا يمثل بالآتى:



$$ {}_{3}^{7}Li + {}_{1}^{1}H \longrightarrow {}_{2}^{4}He + {}_{2}^{4}He $$

نواة الليثيوم	بروتون	نواة الهيليوم جسيم ألفا	نواة الهيليوم جسيم ألفا

٧- **تكافؤ الكتلة والطاقة** (Equivalence of Mass And Energy)

فـى عـام ١٩٠٥ حـيث أعلـن أنشتين نظريته عن تكافؤ الكتلة والطاقة والتى أظهرت العلاقة بين الكتلة والطاقة طبقا للمعادلة.

$$ E = mc^2 $$

حيث طبقا للوحدات المناسبة

E = الطاقة.

M = الكتلة.

C = سرعة الضوء.

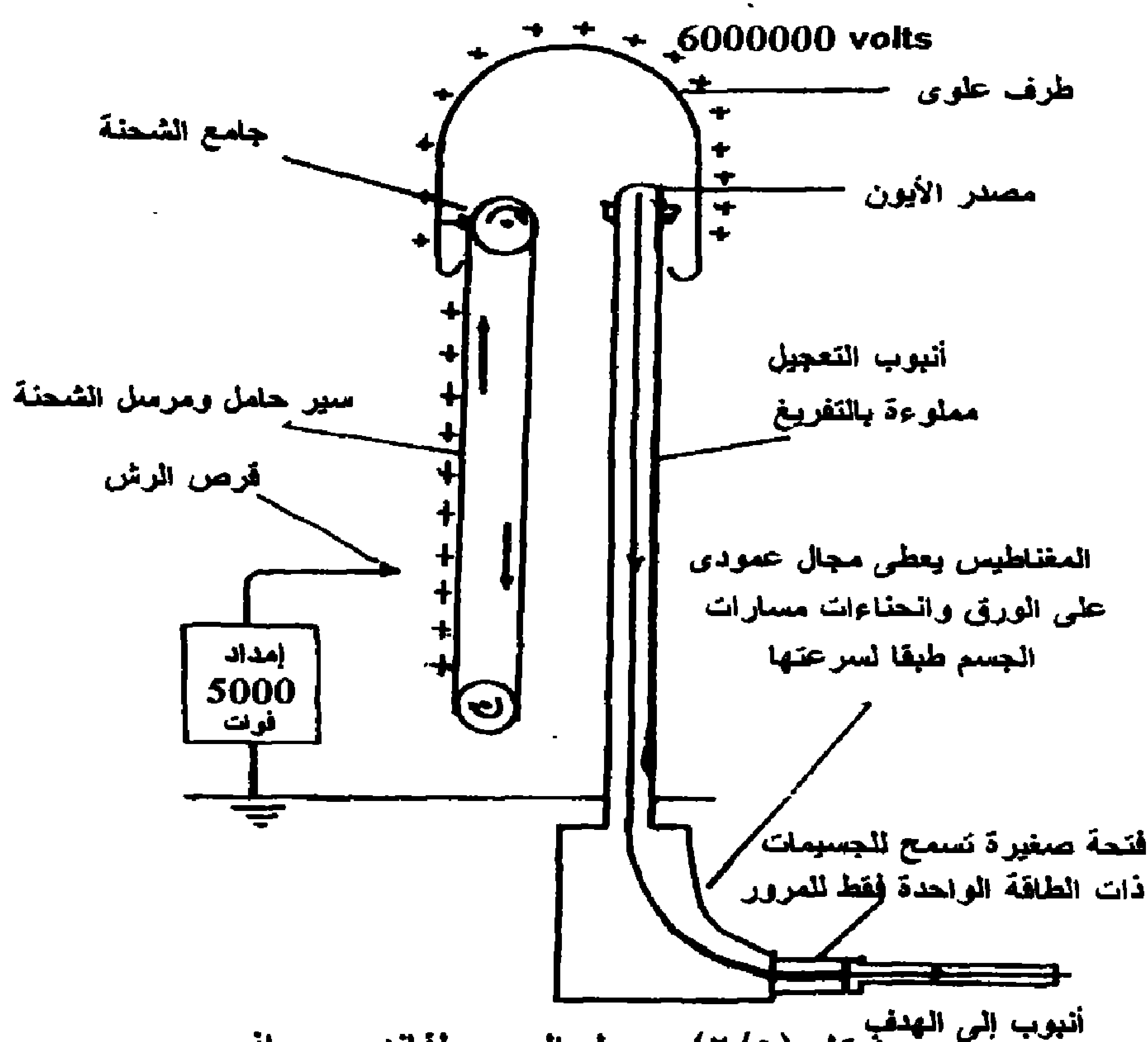
بعـيدا عـن أهميتها كأول انشطار كامل للنواة بفعل الإنسان. فإن تجارب كوك روفت ووالتون برهنت كذلك بالتجارب عن حقيقة معادلة أنشيتن.

عـند تحلـل الـنواة فـإن مجمـوع كـتل الشظايا المنتجة يكون دائما أقل قليلا عن كتلة الـنواة الأصلية. هـذا الفقـد فـى الكـتلة يظهـر كطاقة للشظايا. قام كوك روفت ، والتون بحـساب الطاقة الكلية لكلا جسيمات الهيليلوم المنطلقتين وأظهر أنها كانت ذات علاقة بالفقد فى الكتلة عند تحلل نواة الليثيوم، تماما طبقا لمعادلة أينشتين.

٨ – معجل الجسم لفاند يجراف

The Vande Graaff Particle Accelerator

فى نفس الوقت حيث كان كلا من كوك روفت، والتون يبنيان معجل البروتونات فى كامـبردج، كـان عـالم الطبـيعة الأمريكـى الذى يسمى فاند يجراف يطور معجلا من نوع آخـر. كان لهذا مولد كهرو إستاتيكى الذى استعمل نقطة التأثير (Point Action) ومبدأ ان الـشحنة علـى موصـل أجـوف تكمـن علـى الخارج. الشكل (٢/٥) يوضح كيفية عمل الجهـاز.



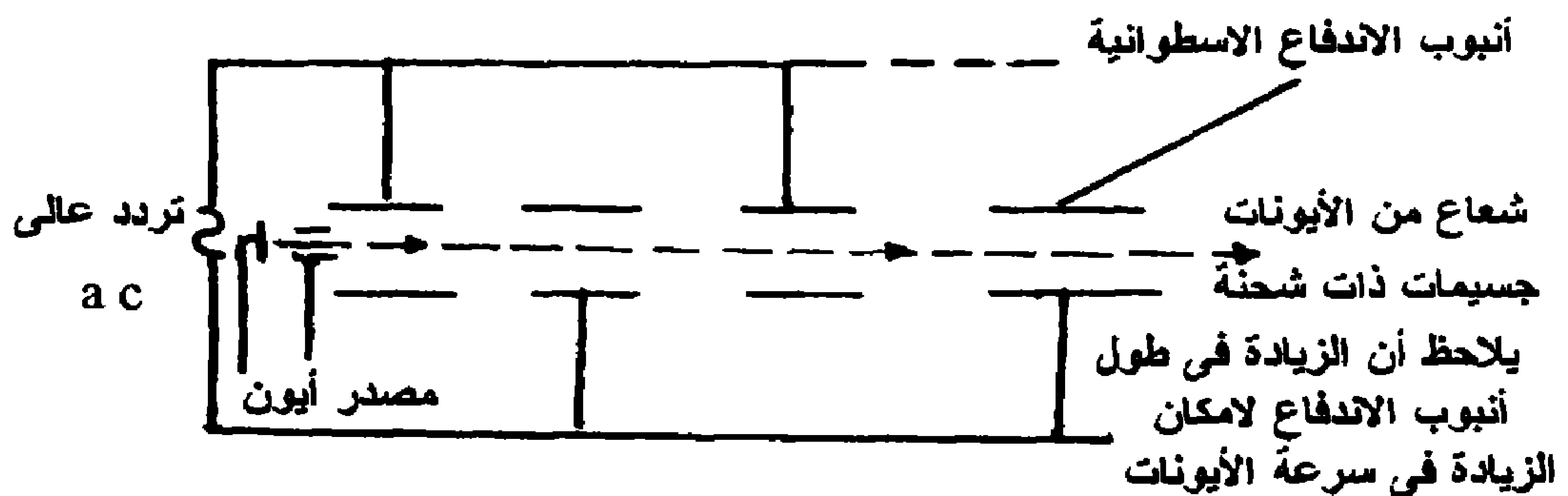
شكل (٢/٥) معجل الجسم لفاندى جراف
وعاء الضغط المعزول الحامل غير موضح

دائرة المحول المقوم (Tranformer Rectifier) توفر الجهد العالى الأولى إلى رش مجزع (Spry Comb) مكونا من سلسلة من النقط الحادة مجاورة لحزام متحرك طويل مصنوع من ورق من عزل خاص. يتم رش الشحنة الكهربية بعيدا عن التجزيع وعلى السير بواسطة نقطة التأثير (Point action) وتحمل إلا أعلا داخل طرف أجوف لعامود العزل. هنا يتم إزالتها من السير بواسطة (Spray Comb) آخر متصل إلى داخل الطرف. عندئذ، تمر الشحنة إلى السطح الخارجى للطرف وتبنى تراكميا جهد عالى جدا، يحده فقط بكسر جهد الجو المحيط. كل الجهاز يكون فى وعاء ضغط محتويا غاز مثل النيتروجين أو الفريون، والذى يرفع بدرجة عالية جهد الانكسار.

يمكن الحصول على جهود حتى عشرة ملايين فولت بواسطة ماكينات فاند يجراف وتستخدم فى إنتاج أشعة (Beams) من الأيونات عالية الطاقة أسفل أنبوب التعجيل. مصدر الأيون المستخدم هو أنبوب تفريغ محتويا الهيدورجين، الديتيريوم أو الهيليوم، طبقا للمطلوب سواء بروتونات يمر شعاع الجسم خلال مجال مغناطيسى بزاوية قائمة نحو اتجاهها. هذا يجعل الشعاع ينحنى بكميات مختلفة طبقا لسرعات الجسم. الشعاع عندئذ يصطدم على فتحة ضيقة التى تسمح بالدخول فقط للجسيمات ذات الطاقة المتجانسة إلى أنبوب الهروب (Flight Tube) فى طريقها إلى الهدف .

أ – المعجل الطولى linear Acceleeator

نوع آخر من المعجلات موضح فى الشكل (٦/٢) يسمى المعجل الطولى ويتكون من سلسلة من أنابيب إنجراف متحدة المركز متصلة بالتبادل كما فى الشكل (٦/ ٢)



شكل (٦/٢) أداء المعجل الطولى

وهـذه تعطـى لهمـا فرق جـهد متغير من مصدر تيار عالى التردد. يتم حقن شعاع ضيق مـن الجـسيمات فـى الأنابيب من مصدر أيون مناسب ويتم ضبط تردد جهد التيار المتغير (A.C) بحـيث أن يغير الاتجاه بينما تعير الجسيمات الأنبوب، لذلك فإنها تعطى نبضة وتـسرع (تعجـل) عـبر ألفاصـل بـين الأنابـيب. داخل الأنبوب فإنهم ينحدروا على طول بـسرعة ثابـتة، ذلـك لأنـه لا يـوجد مجـال كهربى داخل الأنبوب ذو الشحنة الأجوف. بهـذه الطـريقة الجـسيمات يمكـن إسراعها إلى طاقات عالية جدا. الميزة الرئيسية هى أن مـشاكل العـزل تكـون عـند أدناهـا. الجـسيمات يـتم تعجـيلها بسلـسلة من فروق الجـهد الـصغيرة بـدلا من واحد أو اثنين كبيرين كما فى حالة طرق فاديجراف وكوكروف والتون على التوالى.

ب – الإشعاع السيكروترون (The Sgnchrotron)

حالـيا، الأبحاث فى علم طبيعة الأجسام عادة تتم باستخدام سيكروترونات البروتون. فـى هـذا، يتم إسراع البروتونات بواسطة مجال تيار متغير (A.C) موجها بواسطة مجال مغناطيـسى علـى زوايا قائمة فيه. بهذه الطريقة الجسيمات يتم إسراعها على طول المسار الدائـرى الـذى مـنه يمكـن أن يـتم استخلاصـها بواسطة مغناطيسيا ارتجاج (Kicking Magnets) للاسـتخدام فـى تجـارب مخـتلفة. الـنفق المحتوى على السينكروتون ألفائق للـبروتون لـنظمة الأبحـاث الأوربـية الـنووية قطـرة حـوالى ٢,٢ كيلو متر وفيه يتم إسراع البروتونات بطاقات حتى ٤٠٠ جيما فولت (400 Gev)

وحدجـة الطاقـة المستخدمة فـى العلـوم الطبيعية للجسم هى الإليكترون فولت (e.v) (Electron Volt) ، وهـى الطاقـة اللازمـة لتحـرك الاليكترون (أو البروتون) خلال فرق جهد واحد فولت وحدات أخرى هى:

1kev = ألف اليكترون فولت (10^3)

1 mev = مليون اليكترون فولت (10^6)

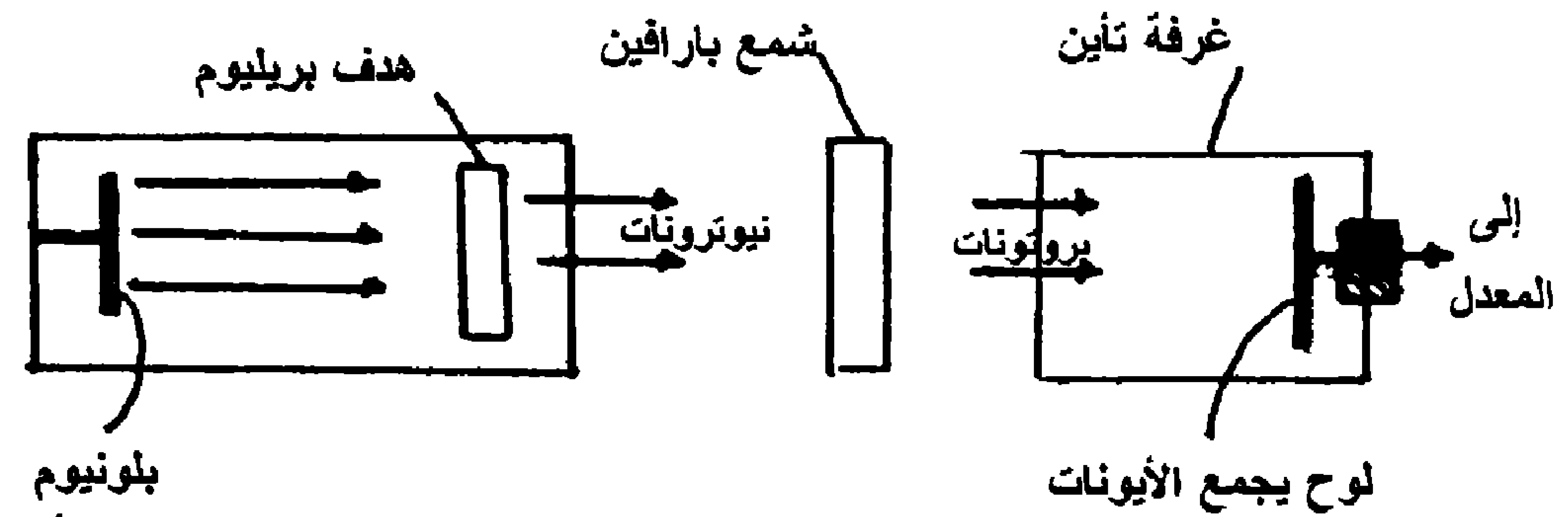
1 Gev = الف مليون اليكترون فولت (10^9)

بواسـطة الجـسيمات ذات الطاقـة العالـية جـدا التـى تم الحـصول علـيها مـن تلـك الماكيـنات، فإنـه يمكـن تفتـيت نـواة الـذرة فى الأغراض المختارة إلى جسيمات وشظايا، حيث طبيعتها يتم بحثها بغرف الفقاعة السابق ذكرها.

٩- إكتشاف النيوترون: Discovery Of The Iventron

النيوترون الذى تم وصفه سابقا كأحد نوبات أو مكونات الأجسام الذى تتكون منه نوبات الذرات، تم اكتشافه بواسطة جيمس شادويك عام ١٩٣٣. ولقد بدأت هذه القصة فى عام ١٩٣٠ عندما وجد اثنين من علماء الطبيعة الألمان انه عند قذف البريليوم وعناصر خفيفة معينة أخرى بواسطة جسيمات ألفا تم إنتاج بعض من الإشعاع شديد الاختراق والذى يمكن أن يمر بسهولة خلال عدد كبير من السنتيمترات من معدن الرصاص. ابنه مدام كورى وزوجها قاما بتجارب بإشعاع جديد ووجدوا أنها تسبب بروتونات ذات طاقة عالية جدا تم قذفها خارج مركبات محتوية على الهيدروجين. وجدوا البديل أن هذا الإشعاع هو ببساطة إشعاع جاما ذو طاقة عالية غير عادية ولكن، عند قيامهم بعمل الحسابات. لقياس طاقات الكم الضوئى لجاما (Gamma Photons) كانت النتيجة لا تنطبق مع قوانين الحفاظ على الطاقة والعزوم.

المشكلة تم حلها أخيرا بواسطة شادويك (Chadwick) الذى أشار إلى أن كل تلك المصاعب تختفي إذا اعتبرت الإشعاعات أنها مكونة من جسيمات لا تحمل شحنة بدلا من فوتونات جاما. الجهاز الذى استخدمه موضح فى الشكل (٢/٧)



شكل (٢/٧) اكتشف شادويك النيوترونات عام ١٩٣٣

لوح مصنوع من معدن البريليوم تم قذفه بواسطة جسيمات ألفا والإشعاع الجديد منه سمح له بالتصادم على لوح من شمع البارفين. البروتونات تم دفعها من البارافين واكتشافها بواسطة غرفة تأين. قام شادويك بقياس طاقات البروتونات وكان قادرا عندئذ لإظهار أنه إذا كانت العملية عولجت كحالة تصادم بسيط بين البروتونات وجسيمات ليس لها شحنة بنفس الكتلة، عندئذ فإن كل الحسابات ستتطابق مع قوانين الحفاظ

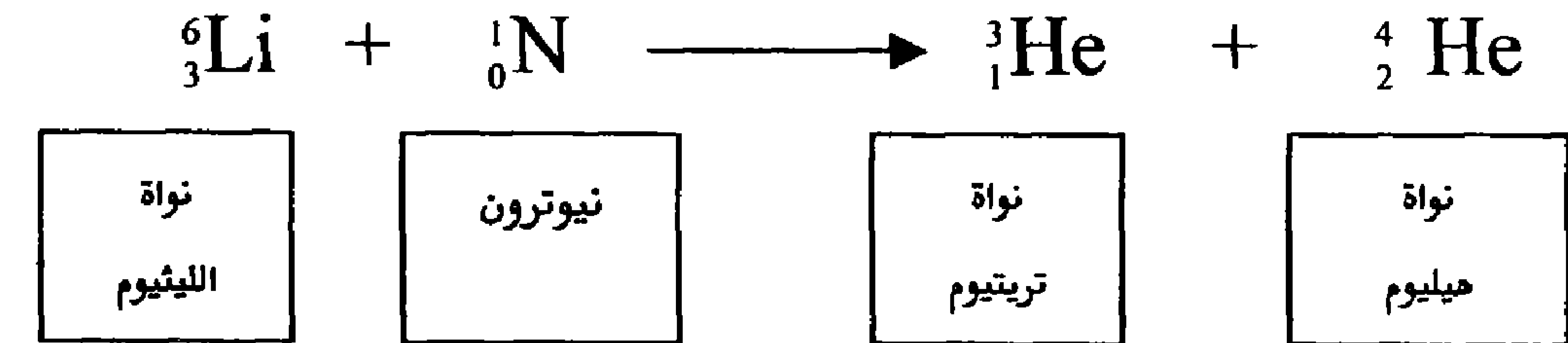
علـى الطاقـة وعلـى العـزوم. هـذا الجـسيم الـذى تم اكتـشافه أعطـى لـه اسـم النيوترون (Neutron).

أ – التفتت بالنيوترونات (Disintegration By Neutrons)

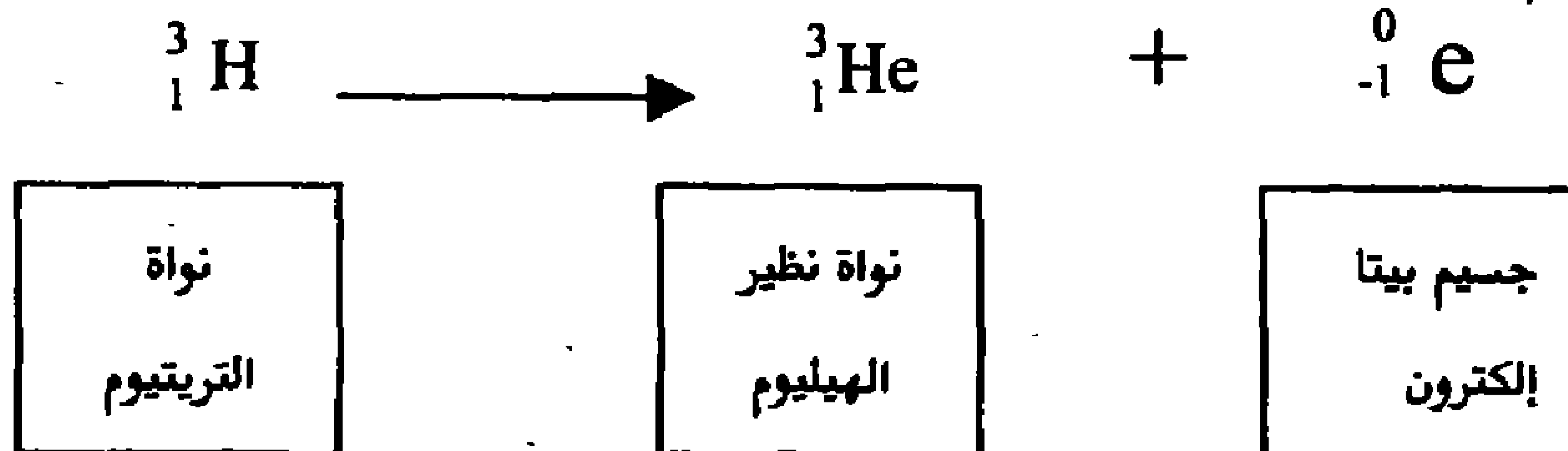
اكتـشاف النيوتـرون أوجـد قذيفة شديدة الأهمية لانشطار الذرة تحت تصرف العلماء. بخـلاف جـسيمات ألفـا، كـان المتاح فقـط الـذى يمكن التحكم فيه لقذف النويات وهما تحديـدا الـبروتون والديوتـرون (نـواة الهيدروجين الثقيل – Deutron). الشحنة الموجبة علـى كـلا تلـك الجـسيمات تمكـنهم فى الإسراع إلى طاقات عالية بالمجالات الكهربية، ولكـن فـى نفـس الـوقت كانـت شـحنتهم كذلك من السلبيات. هذا يعنى انه يتم دفعهم بـشدة بعـيدا عـن الـنواة، وبالـتالى القليل جدا الذى كان قادرا على اختراق النواة. ونظرا لعدم حمله لشحنة كهربية فإن النيوترون لا يمتلك هذه السلبية.

فى عام ١٩٣٣ وجد أن معظم العناصر يمكن انشطارها بنجاح بالقذف بالنيوترون، وتم الحـصول علـى كـثير مـن المنـتجات المفـيدة. لنأخذ حالة الليثيوم – 6 كمثال. فى حالة قـذف هـذا بنيوتـرون فإنـه ينتج نظائر مشعة للهيدروجين تسمى التريثيوم ($^{3}_{1}H$)، والذى يكون باعث للبيتا بنصف عمر ١٢,٢٦ سنة.

فـى الـتفاعل الـنووى يمـثل النيوتـرون بالرمـز ($^{1}_{0}n$)، بمعنى أنه جسيم له عدد كتلى يـساوى واحد وشحنة كهربية تساوى صفر. لذلك يمكن تمثيل تفاعل الليثيوم – نيوترون كالآتى:



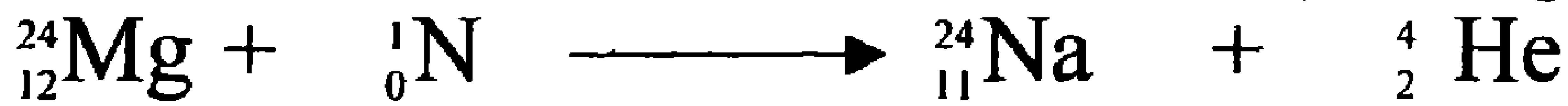
التحلل التالى للتريتيوم هو كالآتى:



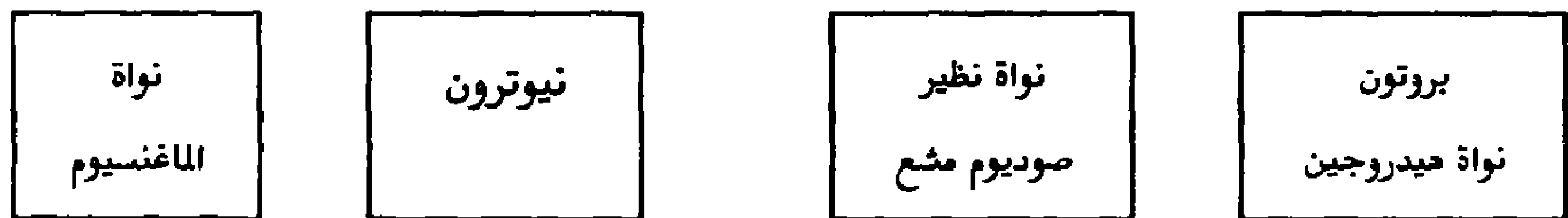
حالة أخرى ملفته لأداء. النيوترون على الماغنسيوم، والتي هي نموذج لعدد من التفاعلات الذى فيها المنتج النهائي يشبه الأصلي. عند إقتناص الماغنسيوم للنيترون فإنه يتحول إلى الصوديوم – 24، ويصاحب ذلك قذف بروتون.

نواه الصوديوم المتكونة هي نظير مشع له نصف عمر حوالى ١٥ سنة، والتي تتآكل لتعود ثانياً إلى الماغنسيوم مع إنبعاث جسيم بيتا. هذه التفاعلات تمثل كالآتي:

إشعاع الماغنسيوم بالنيوترونات:



$$^{24}_{12}Mg + {}^{1}_{0}N \longrightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$$

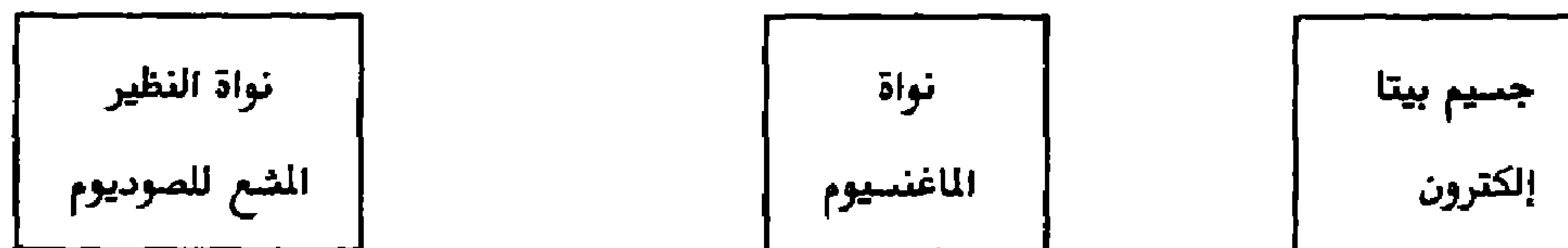


تحلل صوديوم – 24 إلى الماغنسيوم – 24 الغير ضار بحيث أن كميات صغيرة منه مناسبة لتتبع دراسات الدورة الدموية.

تحلل بيتا لنظير الصوديوم:



$$^{24}_{11}Na \longrightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{0}_{-1}e$$



ب – الانشطار النووى (Nuclear Fission)

أمثلة اقتناص النيوترون الذى تم وصفه متعلقة بانشطار النواة إلى جزئين غير متساويين. فى عام ١٩٣٩، بحيث كلا من (Hahn and Trassmah) أداء النبوترونات على اليورانيوم – 235 ووجدوا أنه انشطر إلى جزأين متساويين تقريبا، أحدهما ثبت أنه الباريوم والآخر الكريبتون. ولقد وصف هذا بالانشطار النووى (Nuclear Fission). أهمية الانشطار هو أنه يصاحبه انطلاق طاقة مقدارها عشرة أضعاف المنطلقة فى حالة التحلل العادى، حيث تنسلخ قطعة صغيرة فقط خارج النواة. تفاعل انشطار اليورانيوم كان أول استخدام ناجح له فى إنتاج الطاقة الحرارية على مستوى كبير بواسطة عالم الطبيعة الإيطالى (Enrico Fermi) فى جامعة شيكاغو عام ١٩٤٢.

١٠ – التفاعلات النووية (Nucleiar Reactions)

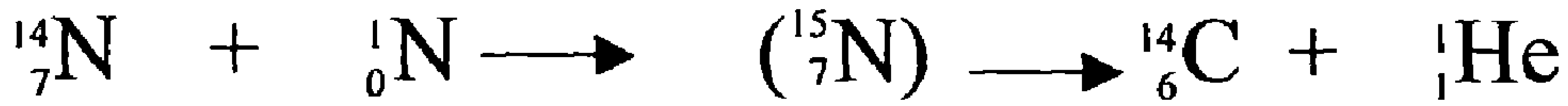
جميع النويات باستثناء ($^{1}_{1}H$) تحتوى على نوعين من الجسيمات أو الدقائق الأساسية – البروتونات والنيوترونات. بعض النويات غير مستقر ويبعث دقائق و/أو إشعاع مغناطيسى فى نفس الوقت. مثل هذا الانبعاث الفورى من النواة يسمى النشاط الإشعاعي (Radio activity). فمثلاً $^{238}_{92}U$ تنبعث منه فورا دقائق ألفا.



$$^{288}_{92}Ua \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He \text{ (جسيم ألفا)}$$

مثل هذا التحول يسمى التفاعل النووى.

التفاعلات النووية يمكن كذلك إحداثها صناعيا فى نوبات معينة. مثل هذا التفاعل النووى الصناعى يسمى (Transmutation)، أى تحول عنصر أو نظير إلى آخر. فمثلا، عند قذف نواه $^{14}_{7}N$ المستقرة بنيوترون، يحدث هذا التحول كما فى المثال التالى.



$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}N \longrightarrow ({}^{15}_{7}N) \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}He$$

لذلك ، فإن التفاعل النووى يمكن أن يكون طبيعيا أو صناعيا.

أ – مقارنة التفاعلات النووية والتفاعلات الكيمائية :

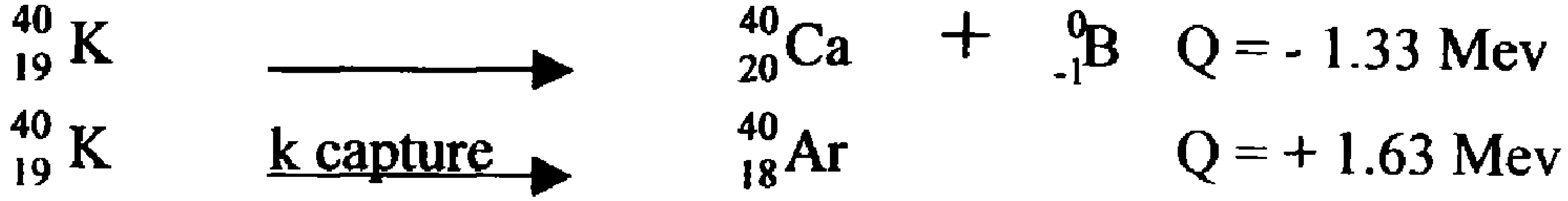
التفاعلات النووية تختلف عن التفاعلات الكيمائية فى بعض الاعتبارات الهامة الموجزة فى الجدول الآتى:

جدول مقارنة التفاعلات النووية والتفاعلات الكيمائية.

التفاعلات النووية	التفاعلات الكيمائية
– تحدث تغيرات فى النواة	– تحدث تغيرات فى مناطق بعيدة عن النواة.
– يعاد تنظيم النواة حيث تتحول نواة إلى أخرى.	– يعاد تنظيم الذرات وذلك من خلال الكسر أو تكون أربطة (Bonds).
– تشترك البروتونات والنيوترونات وجسيمات أولية أخرى	– الذى يشارك هو فقط الاليكترونات المدارية.
– يصاحبه امتصاص أو انطلاق كميات مهولة من الطاقة.	– يصاحبه امتصاص أو انبعاث كميات صغيرة نسبيا من الطاقة.
– معدلات التفاعل لا تتأثر طبيعيا بالحالات التجريبية مثل درجة الحرارة والضغط والتركيز والعامل الوسيط	– معدلات التفاعل تتأثر بالظروف التجريبية.
– فاعلات نادرة	– التفاعلات هى العادية.

ب – تشعب التحلل الإشعاعي (Branching Radio decay)

النواة المشعة يمكن أن تتحلل بأكثر من طريقة فمثلا $^{40}_{19}K$ يتحلل بطريقتين:



$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{40}_{20}Ca + {}^{0}_{-1}B \quad Q = -1.33\ Mev$$

$$^{40}_{19}K \xrightarrow{\text{k capture}} {}^{40}_{18}Ar \quad Q = +1.63\ Mev$$

طريقتى التحلل تنتج منتجين مختلفين، لهما ثابت تحلل مختلف. لكل مائة نوية من K - 40، يتحلل 89 نواه بواسطة انبعاث بيتا والباقى إحدى عشر نواة باقتناص إليكترون. التحللات المتشعبة تشكل جزءا من السلسلة الإشعاعية.

فى اقتناص (Capture) الإليكترون البروتون النووى يقتنص إليكترون مدارى ويصبح نيوترون.

التسلسل الاشعاعى (Radioactive Series)

عند تحلل نواه مشعة، فإن المنتجات المتكونة يمكن أن تكون مشعة كذلك، عندئذ فإن النواتج سوف يحدث لها تحلل تالى. هذا التحلل على مراحل يستمر حتى تكون مركب مستقر، مثل هذه النويات، بدءا من النواة الأصلية المشعة إلى النواة الأخيرة المستقرة، تشكل السلسلة الإشعاعية. مثل هذه السلسلة الإشعاعية موضحة فى الجدول فهى تبدأ باليورانيوم الطبيعى u- 238 وتسمى سلسلة تحلل اليورانيوم.

جدول سلسلة اليورانيوم (4n+ 2) للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
اليورانيوم	U232	α	٤,٥ × $١٠^{٩}$ سنة
الثوريم	Th234	β	٢٤,٥ يوم
Practinium	Pa234	β	١,١٤ دقيقة
يورانيوم	U234	α	٢,٦٧ × $١٠^{٥}$ سنة
ثوريوم	Th 230	α	٨,٣ × $١٠^{٤}$ سنة
راديوم	Ra 226	α	١,٦٢ × $١٠^{٣}$ سنة
رادون	Rn 222	α	٣,٨٢ يوم
بلونيوم	Po 218	α، β	٣,٠٥، دقيقة
٩٩,٩٦٪ رصاص +	Pb 214	β	٢٦,٨ دقيقة
٠,٠٤٪ أستاتين	At 218	α	٢ ثانية
بزمث	Bi 214	α، β	١٩,٧ دقيقة
٠,٠٤٪ ثاليوم+	Th210	β	١,٣٢ دقيقة
٩٩,٩٦٪ بلونيوم	Po 214	α	١,٥ × $١٠^{-٤}$ ثانية

رصاص	Pb 210	β	٢٢ سنة
بزمث	Bi 210	α β	٤,٨٥ سنة
ثاليوم +	Th 206	β	٤,٢٣ دقيقة
بلونيوم	Po 210	α	١٣٨,٣ يوم
رصاص.	Pb 206.	مستقر	

حوالى ٤٠ من النظائر الطبيعية للعناصر ذات أرقام ذرية أعلا تشكل ثلاث تسلسلات للتحلل، واحدة هى سلسلة تحلل اليورانيوم، الاثنان الآخران هما سلسلة الثوريوم وسلسلة أكتينيوم تلك الثلاث تسلسلات للتحلل تسمى التسلسل الطبيعى للتحلل .

جدول سلسلة الثوريوم (4n) للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
الثوريوم	Th 232	α	$1,39 \times 10^{10}$ سنة
راديوم	Ra 228	β	٦,٧ سنة،
Actininum	Ac 238	β	٦,١٣ سنة،
ثوريوم	Th 228	α	١,٩ سنة،
راديوم	Ra 224	α	٣,٦٤ يوم
رادون	Rn 220	α	٥٤,٥ ثانية
بولوينوم	Po 216	α β	٠,١٦ ثانية
رصاص +	Pb 212	β	١٠,٦ ساعة
أستاتين	At 216	α	٥٤ ثانية
بزمث	Bi 212	α β	٦٠,٥ ثانية
بولونيوم +	Po 212	α	3×10^{-7} ثانية
ثالسيوم	Tl 208	β	٣,١ دقيقة.
رصاص	Bp 208.	مستقر	

جدول سلسلة أكتينيوم (Actinium) (4n+ 2) للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
يورانيوم	U 235	α	٧,٠٧× ١٠^{٣} سنة
ثوريوم	Th 231	β	٢٤,٦ سنة
Protactonium	Pa 231	α	٣,٢× ١٠^{٤} سنة
أكتينيوم	Ac 227	α β	٢١,٧ سنة
٩٨.٨٪ ثوريوم +	Th 227	α	١٨,٩ سنة
١,٢٪ Francium	Fr 223	β	٢١ دقيقة
راديوم	Ra223	α	١١,٢ يوم
رادون	Rn219	α	٣,٩٢ ثانية
بولونيوم	Po215	α	١,٨٢× ١$^{-٣}$ ثانية
رصاص	Pb211	β	٣,٦١ دقيقة
بزمث	Bi 211	α β	٢,١٦ دقيقة
٩٩,٦٨٪ بولونيوم +	Po211	α	٥× ١٠$^{-٣}$ ثانية
٠,٣٢٪ ثاليوم	Tl 207	β	٤,٧٦ دقيقة.
رصاص.	Pb207.	مستقر	

جدول سلسلة النبتونيوم (4n+1) للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
بلوتونيوم	Pu241	β	١٣ سنة
Americium	Am 241	α	٤٧٠ سنة
Neptunium	Np237	α	٢,٢ × ١٠^{٦} سنة
Protactinium	Pa233	β	٢٧,٤ يوم
Uranium	U233	α	١,٦٢×١٠^{٥} سنة
ثوريم	Th 229	α	٧,٣٤× ١^{٣} سنة
راديوم	Ra 225	β	١٤,٨يوم
أكتينيوم	Ac 225	α	١٠,٠٠٠ يوم
Franciu	Fr 217	α	٤,٨ دقيقة

Astatine	At 217	α	٠,٠٢ ثانية
بزمث	Bi 213	α β	٢٧ دقيقة
٢٪ بولونـيوم +	Po 213	α	٤,٢ × ١٠⁻⁶ ثانية
٩٨٪ ثاليوم	Th 209	β	٢,٢ دقيقة
رصاص	Pb 209	β	٣,٣ ساعة
بزمث.	Bi 209.	مستقر	

جـ - تسلسل التحلل الطبيعي (Natural Decay Series)

١- كل سلسلة تحلل يتم تسميتها بالعنصر السائد فى هذا التسلسل.

٢- التسلسلات الثلاث يشار إليها كالآتي: 4n (ثوريوم)، 4n + 2 (يورانيوم)، 4n + 3 (أكتينيوم)، نظرا لأن الأعداد الكتلية (Mass numbers) لتلك العناصر قابله للقسمة على 4 أو على 4 مع الباقى 2 أو 3.

٣- المنتج النهائى لكل تسلسل هو النظير المستقر من الرصاص.

٤- فى كل تسلسل بعض النظائر النشطة يحدث لها تحلل متشعب. فى التحلل المتشعب يتحلل النظير بطريقتين، معطيا منتجين، يسميان منتجات متشعبة.

٥- فى كل تسلسل بعض النظائر النشطة يحدث لها تحلل متشعب. فى التحلل المتشعب، يتحلل النظير بطريقتين، معطيا منتجين، يسميا منتجات متشعبة. فمثلا Po - 218 فى سلسلة اليورانيوم يحدث له كلا من تحلل α ، β معطيا Pb - 214، At - 218 على التوالى. منتجات التشعب دائما تتحلل إلى نفس المنتج. لذلك فإن Pb - 214، At - 218، ينتجا Bi - 214.

د - سلسلة تحلل النبتونيوم: (Niptumnium 4n+)

سلسلة التحلل تلك التى سبق توضيحها متعلقة بتخليق النظائر، لذلك فإنها تسمى سلسلة التحلل الصناعى. فهذه السلسلة تبدأ بالبلوتونيوم — 241 (Pu - 241) وتنتهى (Bi - 209). هذه السلسلة تختلف عن الثلاث تسلسلات للتحلل الطبيعى بالنسبة للاعتبارات الآتية:

١- كل عناصر هذه السلسلة، عدا العنصر الأخير لا توجد فى الطبيعة.

٢- المنتج النهائى ليس نظير للرصاص ولكنه نظير للبزمث (Bi).

٣- هـذه السلسلة لا تحـتوى علـى نـواتج غازيـة مـن الـرادون علـى الـثلاث تسلسلات الطبيعية.

١١- إشعاعات ألفا، بيتا، جاما وما يصاحبها من تغير فى الطاقة.

أ- إشعاعات ألفا (Rays):

تتكون إشعاعات ألفا من سيل من جسيمات ألفا. جسيم ألفا يشبه نواة الهيليومن - 4 $^{4}_{2}He$ تلـك الجـسيمات يمكـنها اخـتراق المـادة ولكن قوة اختراقها ضعيفة. هذه الأشعة تنـتج أيـونات فـى المـادة التـى تسقط عليها. جسيمات ألفا تنحرف بالمجالات الكهربية والمغناطيـسية بـسبب شـحنتها الموجبة شكل (١/٦) جسيمات ألفا تنبعث عموما بواسطة النويات المشعة ذات رقم ذرى (Z) كبير. فمثلا، Po^{212} هو له نشاط ألفا



$$^{212}_{84}Po \longrightarrow \ ^{208}_{82}Pb + \ ^{4}_{2}He$$

جـسيم ألفـا يـتكون مـن اثـنين مـن الـبروتونات واثـنين مـن النيوترونات، لذلك فإن المجموع يكون له رقم ذرى (Z) اثنين وحده أقل وعدد كتلى (A) أربع وحدات أقل.

تحلـل ألفـا يـزيد نـسبة النيوتـرونات إلى الـبروتونات (P: n). هذه النسب لـ Po- 212 تـساوى 1.52 وتـزداد إلى ١,٥٤ فـى Pb - 208. زيـادة نـسبة P: n تجعـل Pb - 208 نظـير مستقر.

ب- إشعاعات بيتا:

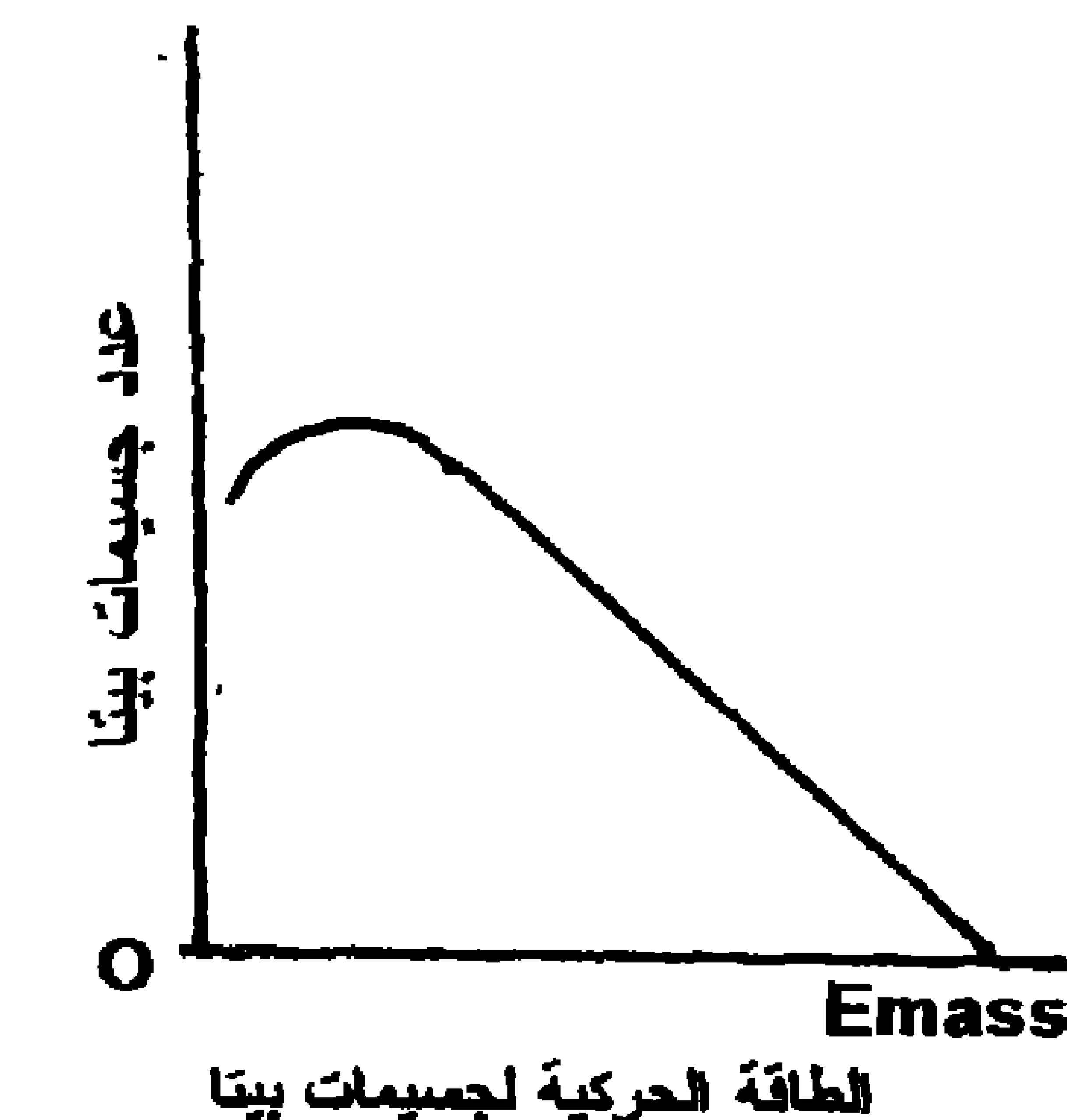
أشـعات بيـتا هى كذلك تتكون من جسيمات. جسيمات بيتا تشبه الإليكترونات، مع كتله صغيرة جدا، ووحدة شحنة سالبة فمثلا،.



$$^{32}_{15}P \longrightarrow \ ^{32}_{16}S + \beta$$

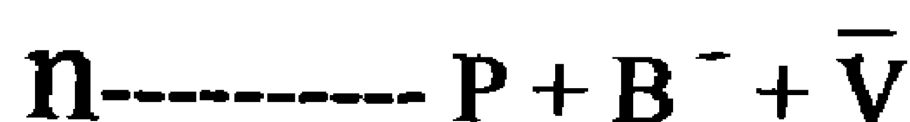
P - 32 يعـرف إنـه نشط بيتا. عند انبعاث النواة لجسيم بيتا، فإن النواة المنتجة لها رقـم ذرى واحـد يـزيد عن ذلك لمادة التفاعل. نظراً لأن جسيم بيتا ذو كتلة مهلمة، فإنه عـند انبعاثه لا يغير فى العدد الكتلى (Mass Number). لذلك فإنه عند انبعاث جسيم بيـتا مـن P - 32، فإنـه يتكون العنصر التالى فى الجدول الدورى وهو S- 32. أشعة بيتا التـى تـتكون مـن جسيمات دقيقة لها قوة اختراق أكبر من أشعة ألفا. فهى يمكنها المرور خـلال مـسطح من الألومنيوم رقيق بسمك ٢ — ٣ مليمتر. قوة تأينها (Ionizing power) أقـل مـن تلـك لأشـعة ألفـا. أشـعة بيـتا بـسبب شـحنتها السالبة فإنها تنحرف بواسطة المجـالات الكهـربية والمغناطيـسية. ولكـن هذا الانحراف هو فى اتجاه معاكس لانحراف

أشـعة ألفـا شـكل (١/٦)، فى كل تحلل بيتا، يتكو جسيم دقيق إضافى يسمى أنتى نيو ترينو Antineutrino (ويرمز له ٧) أى المضاد لنيوترون. تكون هذا الجسيم يكون ضروريا ليـتطابق الـتحلل مـع قـوانين الحفـاظ. كذلك، فإن انبعاث النيوترينو يفسر طيف الطاقة المـصاحب لجـسيمات بيـتا. الطاقـة المـنطلقة فى انبعاث بيتا (β^-) تحمل كطاقة حركية بواسـطة جـسيم (β^-) والأنثـى نيوتـرينو. النواة المنتجة لكونها أثقل، فإن طاقتها المرتدة (Recoil) يمكـن إهمالهـا. الطاقـة الحـركية لكـل جـسيمات بيتا (β^-) التى تتكون من عتـبة نـشاط (β^-) ليـست متـشابهة، ولكـنها تتراوح استمرار من صفر إلى الأقصى شكل (٨/ ٢). هـذا لأن جـسيمات (β^-) الدقيقة نتصادم فيما بينها وكذلك الأنثى نيوترونات، بمـا يؤدى التبادل العشوائى للطاقات. هذا لا يحدث فى جسيمات ألفا المنتجة من مصدر له نفس الطاقة الحركية.



شكل (٢/٨) طيف طاقة أشعة بيتا

جسيم بيتا المنبعث بواسطة عنصر نشط لا شك انه ليس إليكترون مدارى. لذلك، فإنه يجـب أن يكون مصدره من النواة نفسها عند انبعاث بيتا، يكون المنتج له رقم ذرى (Z) أكـبر مـن ذلـك للمـادة الأصـلية. لـذلك فإن تحول النيوترون إلى البروتون وجسيم بيتا تم افتراضه.



$$n \text{---------} P + B^- + \bar{V}$$

رغـم أن جـسيم بيـتا مـثل الإلـيكترون، إلا أنـه يرمز له بالرمز B^- لبيان أنه أصلا من النواة.

جـ - إشعاعات جاما : (Υ) (Gamma Rays)

انـبعاث أشـعة جامـا عادة يلى انبعاث أشعة ألفا أو بيتا بواسطة النويات المشعة. فى الـتحلل الإشعاعى، النواة المنتجة تكون عادة فى حالة مثارة (Excited). مثل هذه النواة المـثارة ليـست مـستقرة وتـبعث طاقـتها الزائدة كإشعاع جاما ثم تتحول إلى حالة الهمود. أشـعات جامـا هـى إشـعاعات كهرومغناطيسية أو كم ضوئى (Photons) ولا تحتوى أى جـسيم مـادى (خـلاف أشـعات ألفا وبيتا). وهى لها طول موجه قصير ولذلك فهى ذات طاقة عالية ($E = hc/\lambda$) . مكونات النواة.

[(nucleons) أى الـبروتونات والنيوتـرونات] فـى الـنواة تـوجد فـى مستويات طاقة مـستقلة متفـرقة وغـير مترابـط (Discrete) [مـثل الالـيكترونات الـزائدة عـن الـنواة – Extranuclear Electrons–. الـنواة يمكن أن تتأثر بالطاقة وهذه النواة المثارة يقال إنها فـى حالـة – الأزمـره (Isometric) وهـذا يعنـى الـتماثل فـى التركـيب والاختلاف فى الخـواص. الحالـة الـنووية المـثارة هـى شبه مستقرة أى الاستقرار مؤقت (Metastable) ويرمز لها بالرمز (m) بعد عدها الكتلى (Mass Number).

$^{103}_{44}R$ هـذه نـواه غـير مـستقرة فهـى تـتحلل بإنـبعاث جـسيم بيتا (B^-) مكونه نواه الـرديوم (Rhodium) المـستقر. Rh المنـتج يكـون فـى حالـة الأزمره (Isometric). فهو يتحلل إلى حالة الهمود بانبعاث أشعة جاما. هذه التغيرات موضحة فى الشكل (N.c).

إشـعاعات جامـا التـى تنـبعث بمخـتلف الـنوياه المـشعة لهـا أطوال موجات مختلفة (طاقات). شكل (١/٣).

١٢- خواص الإشعاع للتحلل الاشعاعى :

Properties Of Radioactive Decay

جدول خواص إشعاعات ألفا، بيتا، جاما :

	الشحنة	الكتلة النسبية	
جـــسيمات ألفـــا	موجبه (2 +)	4	α, $^{4}_{2}He$
جـــسيمات بيـــتا	سالبة (1-)	0.0005	β
إشعاع جاما	متعادلة (صفر)	0	Υ

أمثلة لطاقة إشعاع ألفا، بيتا:

١- طاقة تحلل ألفا:

المجموع الكتلى لكل من ^{208}Pb، ^{4}He

$= 4.0026 + 208 - 0414$

$= 212.044$ a m u.

كتلة $^{212}Po = 212.0519$

الفقد فى الكتلة $= 212.0549 - 212.0440$

$= 0.0109$ a m u

[a m u (Unified Atomic Massunit) الوحدة العيارية للكتلة الذرية U].

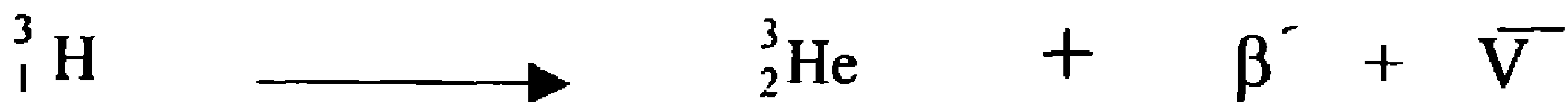
$1 \text{ a m u} = 931.5 \text{ Mev}$

الطاقة المتعلقة $= 0.0109 \times 931.5$

$= 10.15$ Mev

٢- طاقة تحلل بيتا:

لحساب أقصى طاقة حركية لجسيم B' منبعث أثناء التحلل



$$^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + \beta^{-} + \bar{V}$$

الحل:

$$\Delta M = M^{3}_{2}He - M^{3}_{1}H$$

$$= (3.01600690 - 3.0160493) \text{ a m u}$$

$$= 0.0000197 \text{ a m u}$$

$$E = \text{Mamu x } 931.5 \text{ Mev a m u}^{-1}$$

$$= (0.0000\ 197)(931.5) \text{ Mev}$$

$$= 0.0184 \text{ Mev}$$

لذلك فإن أقصى طاقة حركية لـ B' هى 0.0184 Mev.

الفصل الثالث

الأجسام الأساسية ونواة الذرة:

Fundamental Particles And Atomic Nucleus

١- الأجسام الأساسية:

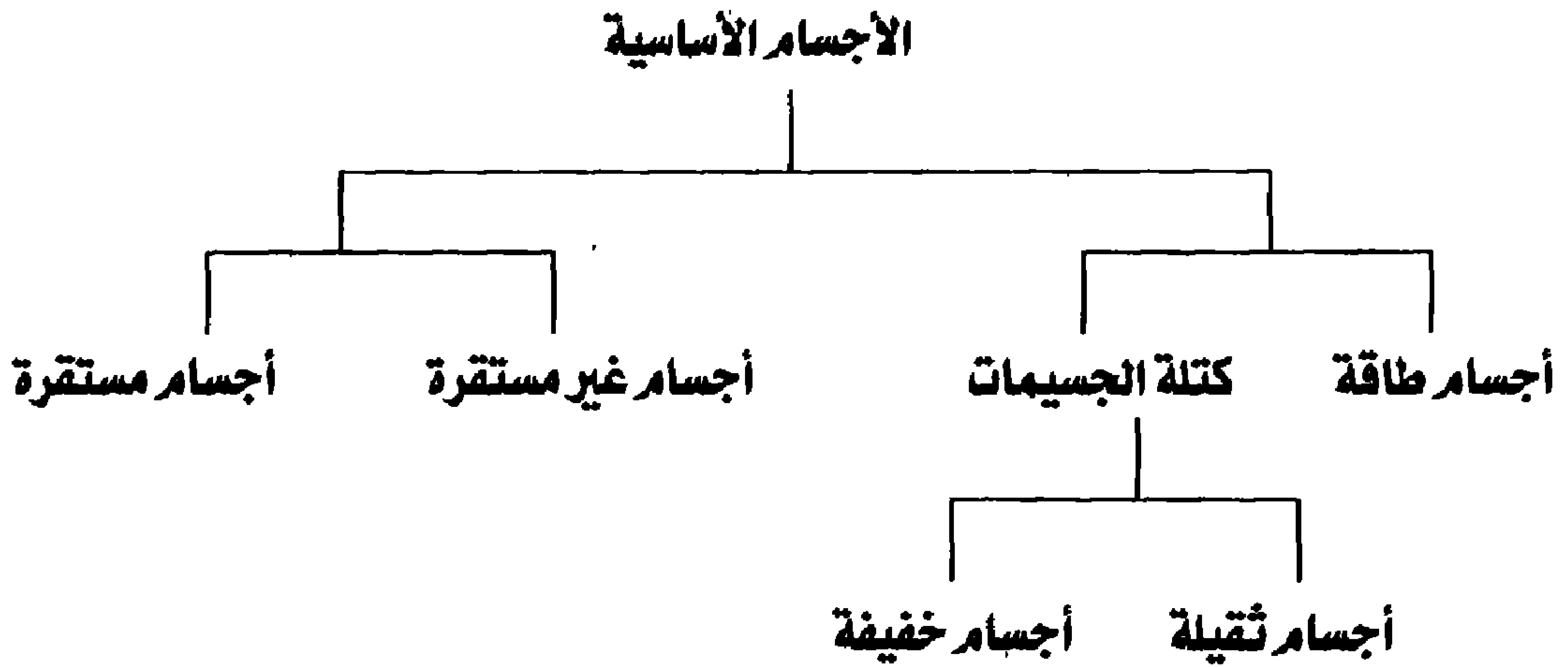
تتكون الذرة من بروتونات (Protons)، نيوترونات (Neutrons) وإليكترونات (Electrons).

الجسم الأساسى هو إما من مكونات النواة أو ناتج من النواة.

توجد أجسام عديدة أخرى مثل (Masons , Neutrions).. الخ وهذه تسمى أجسام أساسية كذلك.

تقسيم الأجسام الأساسية:

الأجسام الأساسية يمكن تقسيمها بطرق مختلفة طبقا لاستقرارها ولكتلتها:



الأجسام الأساسية يمكن تقسيمها إلى الأجسام المستقرة والغير مستقرة. الإليكترون والبروتون هما أجسام مستقرة، النيوترون والبوزيترون هما بعض من الجسيمات الغير مستقرة.

على أساس الكتلة تنقسم الجسيمات إلى جسيمات ذات كتلة وجسيمات طاقة (ليس لها كتلة). البروتون والنيوترون هما بعض من جسيمات الكتلة، الكم الضوئى لأشعة جاما (Gammaphoton)، الجرافيتون (Graviton هو الوسيط النظرى لتفاعلات الجاذبية بين الجسيمات) والنيوترينو (Neutrino هى دقيقة ذرية متعادلة دون الإليكترون كتلة) هذه جسيمات ليس لها كتلة. كتلة الجسيمات تنقسم إلى جسيمات خفيفة (مثل

الإلـيكترون والـبوزيترون)، جـسيمات متوسـطة الكـتلة مـثل (الميـزون / Mesons) وجـسيمات ثقـيلة مـثل (البروتون والنيوترون). خواص بعض الجسيمات الأساسية توجد بشكل موجز فى الجدول الآتى:

جدول الجسيمات الأساسية

الجسيم	الرمز	الشحنة	الكتلة (a m u)	المكتشف
بروتون	P	+1	1.007276	جولدستين
ينوترون	n	o	1.00866	شادويك
إليكترون	B' or $^{0}_{-1}e$	-1	0.000549	ثومسون
بوزيترون	B^{+} or $^{0}_{+1}e$	+1	0.000549	أندرسون
نيوترينو (Positrons)	V, $\bar{V}$	o	< 0.00002	.Pauli

أ – الإليكترون:

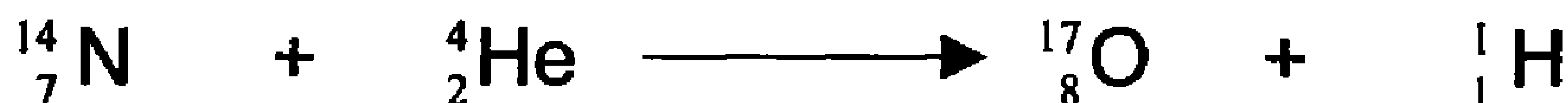
فـى عـام ١٨٩٧ أثـبت ثومـسون أن الإلـيكترونات هـى مـن مكونات كل أنواع المادة. الـشحنة الكهـربية للإلـيكترون هـى ($4.80386x10^{-10}$ e.s.u) (le. S.U = وحـدة الـشحنة الكهروسـتاتيكية أى الـشحنة التـى عـند وصـفها فى فراغ اسم بعيد عن شحنة مثيلة ومتساوية سوف تدفعها بقوة تساوى واحد داين).

الإلـيكترون جـسيم دقـيق جـدا له نصف قطر = $2.82x10^{-5}m$ وله دوران مغزلى (Spin) لـ $\frac{1}{2}$. وهو جسيم مستقر.

ب – البروتون Proton

كـل الـنويات الذرية تحتوى على بروتونات . الشحنة الكهربية للبروتون تساوى تلك للإلـيكترون فـى المقـدار ولكن بعلامة عكسية. ($\frac{1}{2}$ It's Spin Is) . هو جسيم مستقر .

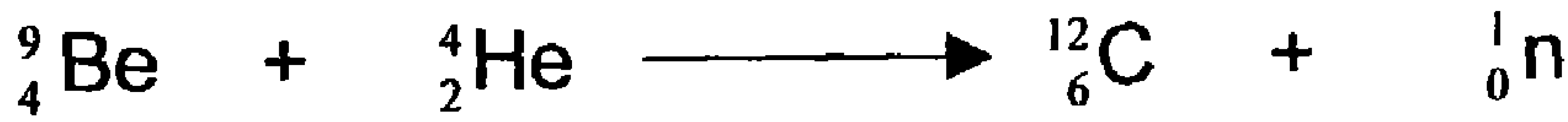
كان رزر فورد أول من أنتج البروتون خلال مفاعل نووى صناعى:



$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

جـ - النيوترون: Neutron

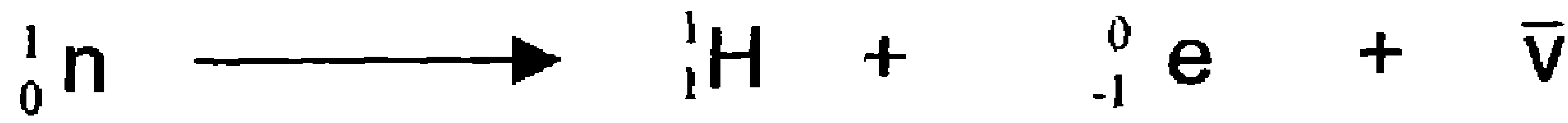
إكتشف شادويك النيوترون بقذف $^{9}_{4}Be$ بواسطة جسيمات ألفا.



$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$$

النويات باستثناء نواة الهيدروجين تحتوى على النيوترونات.

الينوترون جسيم غير مستقر خارج النواة. فهو يتحلل خارج النواة إلى البروتون، إليكترون، وأنتى نيوترينو (أنتى نيوترينو)



$$^{1}_{0}n \longrightarrow ^{1}_{1}H + ^{0}_{-1}e + \bar{v}$$

البروتون والنيوترون، المكونان للنواة يسميا النكليونزن (Nucleons).

د – البوزيترون Positron

البوزيترون هو الجسيم المخالف للإليكترون. أثبت أندرسون وجودة فى الأشعة الكونية عام ١٩٣٢. كتلته هى كتلك للإليكترون، ولكن شحنته هى واحد وموجبة. البوزيترون هى ناتج فى بعض التفاعلات النووية.



$$^{81}_{38}Sr \longrightarrow ^{81}_{37}Rb + B^{+} \text{ (بوزيترون)}$$

وهو جسيم مستقر ولكن عند التفاعل مع الإليكترون فإنه يدمر إلى طاقة، منتجا اثنين من وحدات الكم الضوئى (2 Photons).

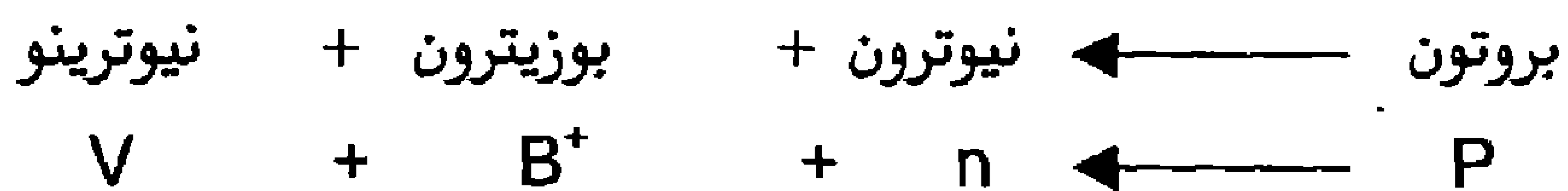


$$B^{+} + B^{-} \longrightarrow 2\,hv$$

هذه العملية تسمى تفاعل الفناء (Annihilation Interaction)

هـ - النيوترينو والأنتى ينوترينو The Neutrino and Antineutrino

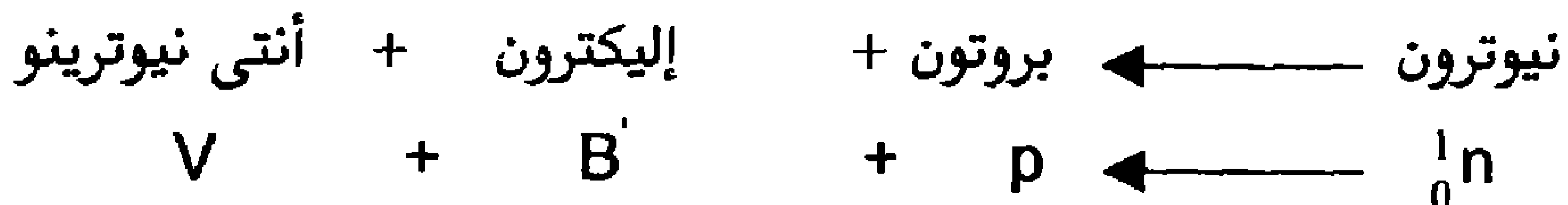
ابتعاث النيوترينو افترضه (Pouli) فى تحلل البوزيترون



بروتون ⟵ نيوترون + بوزيترون + نيوترينو

$$P \longrightarrow n + B^{+} + V$$

بالمثل ابتعاث الأنتى نيوترينو فى تحلل بيتا تم افتراضه بواسطته كذلك.



نيوترون ⟵ بروتون + إليكترون + أنتى نيوتريتو

$$^{1}_{0}n \longrightarrow p + B' + V$$

ابتعاث تلك الجسيمات هو ضرورة للحفاظ على الطاقة، والعزم الزاوى (Angular Momentum) فى تحلل بيتا.

النيوترينو والأنتى نيوترينو متشابهين فى كل الاعتبارات ولكن بدوران (Spin) مخالف: لهم كتلة صغيرة جدا تعادل ٠,٠٥ من كتلة الإليكترون. ليس لهم أى شحنة وهم جسيمات مستقرة. النيوترينو هو من مكونات الأشعة الكونية (Cosmic , Rays)

بالإضافة إلى الجسيمات التى تم وصفها، فإنه تم اكتشاف العديد من الجسيمات الأخرى خلال الخمسين عاما الأخيرة. (جرافيتين) ، (Pimesons)، (mu Mesons) هم البعض من بينم تلك الأجسام.

٢- نواة الذرة: (Atomic Nuclous)

أ- نموذج الذرة لرزرفورد:

طبقاً لتجارب رزرفورد على تفاعل جسيمات ألفا مع نواة الذرة إفترض الآتى بالنسبة للذرة:

١- تتكون الذرة من نواة مركزية ذات شحنة موجبة.

٢- نواة الذرة صغيرة جدا مقارنة بحجم الذرة ككل.

٣- الإليكترونات تكون موزعة حول النواة، حيث عددها يساوى شحنة النواة (الموجبة).

٤- معظم كتلة الذرة تكون بمساهمة النواة.

٥- يوجد فضاء خالى فى الذرة، هذا الخلاء يوجد بين النواة والإليكترونات.

هذه الأوصاف للذرة كانت مبنية على تجربة الانتشار لجسيم ألفا. جسيمات ألفا من مصدر مشع تم تجهيزها لقذف رقيقة (Foil) من المعدن. عندئذ التغير فى مسارها تم تتبعه بشاشة من سلفيد الزنك حيث أنتجت هذه الجسيمات عليها نبضات.

أ – بعض من جسيمات ألفا كانت مجرد أن مرت خلال رقيقة المعدن. برهن هذا أن الذرة لها فضاء خالى.

ب – بعض من جسيمات ألفا، مر خلال رقيقة المعدن ولكن مع انحراف كبير. برهن هذا على وجود مجال كهربى داخل الذرة. جسيمات ألفا الموجبة حدث لها تنافر مع النواة الموجبة ولذلك انحرفت.

جـ – جسيمات ألفا الأخرى انحرفت إلى الخلف . تلك الجسيمات يحتمل أنها صدمت النواة (على رأسها) وعادت إلى الخلف.

هذه التجربة أدت إلى تفهم واضح لطبيعة النواة.

ب – الشحنة النووية: (Nuclear Charge)

نـواة الـذرة هى موجبة الشحنة. هذه الشحنة الموجبة تعود إلى البروتونات التى فيها. عـدد الـبروتونات أو الـشحنات الموجـبة هـو الـرقم الذرى (Atomic Number) للذرة. الـشحنة علـى الـنواة يمكـن أن توجد خارج طيفها لأشعة إكس. هذه الطريقة تم ابتكارها بواسـطة (H. G. Mosley). حـزمة من أشعة الكاثود (إليكترونات) جعلت لترتطم على غـرض مـصنوع مـن عنـصر ذو شـحنة نـووية يلزم تقييمها. تم الحصول على إشعاع إكس المميـز. تم تحلـيل هـذا الإشـعاع باسـتخدام بلـورة مـن مـادة فيروسيانيد كمحزوز للحيود (Diffraction Grating)، والأشـعة الناتجة تم تسليطها على لوح فوتوغرافى. تحميض اللـوح الفوتوغرافـى أظهـر وجـود مجموعة من الخطوط الحادة (Sharp Lines) سميت طيف أشعة إكس شكل (٣/١). إطار الخط مرتبط مباشرة بأطوال الموجه لإشعاعات إكس. مـع الوضـع النـسبى للخطـوط فـإن الـترددات ($v = c / \lambda$) للإشـعاعات المقابلـة يمكـن حسابها. تردد كل خط مرتبط بالرقم الذرى للعنصر بمعادلة رياضية.

$$V = a(z - b)^2$$

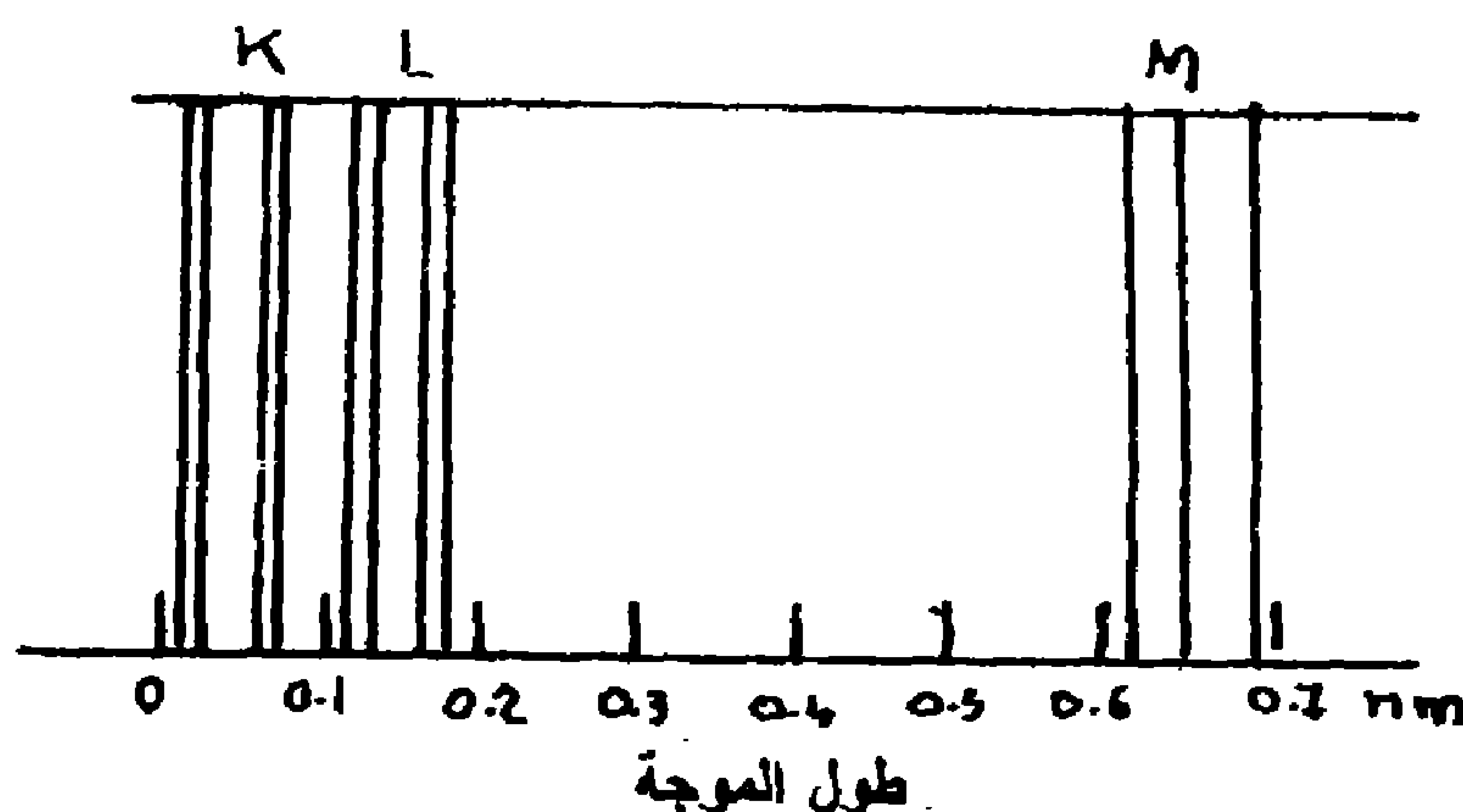
حيث:

a: ثابت النسبية.

b: ثابت لكل الخطوط لسلسلة معطاه.

z: للذرة يمكن حسابها من التردد الذى يتم قياسه.

الثوابت. (a)، (b) يمكن تقديرهم بعمل تجربة أولا مع عنصر ذو قيمة (z) معلومة.



شكل (٣/١) طيف أشعة اكس للتنجستن

جـ - نصف قطر النواة (Nuclear Radious)

نـواة الـذرة كـروية. تـأثير الجـذب السطحى يجعل النواة كروية. نصف قطر النويات صغير جدا. هذه القيم هى فى المجال من $١٠^{-١٣}$ إلى $١٠^{-١٥}$ سم، التقدير التقريبى لنصف قطر النواة يمكن عمله بالطريقة الآتية:

يـتم توجـيه جـسيمات ألفـا نحـو الذرات التى يلزم تعيين نصف قطرها النووى. عند تحـرك جـسيم ألفـا نحو النواة، فإن تنافر كولومب (Coulombic Repulsion) بينها وبـين الـنواة سـيزداد مـع خفـض المـسافة (d) بيـنهم. عـند نقطـة واحدة، تكون الطاقة الحـركية مجرد مساوية لطاقتها الوضعية للتنافر بين الاثنين. عند هذه النقطة فإن جسيم ألفـا سـوف يـتوقف حركيا ثم يعود إلى الخلف لنفترض أن هذه المسافة للاقتراب القريب جدا لتكون (do).

الطاقة الحركية لجسيم ألفا = $\frac{1}{2}\, mv^2$ (١)

حيث m = الكتلة، v هى سرعة جسيم ألفا

قـوة التنافر الكهروستاتيكى بين النواة الهدف وجسيم ألفا عند أى مسافة طبقا لقانون كولومب.

$$\frac{2e \times ze}{d^2} = \frac{2ze^2}{d^2} \quad (٢)$$

حيث:

z: هى شحنة النواة التى يتم تعيين نصف قطرها

e: هى الشحنة الإليكترونية.

طاقة الوضع للتنافر يتم الحصول عليها بتكامل (Integrating)

المعادلة (٢) للقوة على كل المسافات من ما لانهاية حتى (d)

هذه القيمة

$$\frac{2ze^2}{d}$$

كلا تلك الطاقتين الحركية والوضعية يتساويا عند do

$$\frac{1}{2}\, mv^2 = \frac{2ze^2}{do}$$

عندئذ

$$do = \frac{4ze^2}{mv^2}$$

قيمة do يفترض أنسبها تقريبا نصف قطر النواة (r)، (r) تكون أقل من do.

مثال:

البيـانات الآتـية معطـاه، بالنسبة لتقدير نصف القطر النووى لذرة البوتاسيوم كعنصر الهدف، احسب نصف القطر النووى لذرة البوتاسيوم.

حيث:

- الشحنة الكهروستاتيكية e = 4.8×10^{-10} e.s.u
- الوزن الذرى لـ He = 4.00
- ثابت أفوجاردو = 6.02×10^{23}

[ملحوظة: ثابت أفوجادرو هو عدد الجزئيات فى جزئ جرامى = 6.02×10^{23}]

- شحنة جسيم ألفا = 1.5×10^{9} cm s $^{-1}$

الحل:

$$do = \frac{4ze^2}{mv^2}$$

$$= \frac{4 \times 19 \times (4.8 \times 10^{-10})^2}{\left(\frac{4}{6.02 \times 10^{23}}\right)(1.5 \times 10^{9})^2}$$

$$= \frac{1751.04 \times 10^{-20}}{1.495 \times 10^{-5}}$$

$$= 1.17 \times 10^{-12}\ Cm$$

نصف قطر نواة البوتاسيوم يكون أقل من 1.17×10^{-12} cm

أنصاف أقطار النويات الذرية يتراوح من 1×10^{-13} cm إلى 8×10^{-13} cm . القيمة 1×10^{-13} cm تـسمى ((I fermi (I F) واحـد فيرمـى هـو علـى شـرف Fermi عالم الطبـيعة الـنووية. يعـبر عن أنصاف الأقطار النووية بوحدة Fermi. فمثلاً، نصف القطر الـنووى لليورانـيوم هو (7.7 F). الحجم النووى ($\frac{4}{3}\pi r^3$) يتناسب مع عدد مكونات النواة (Nucleons) (A) فى النواة

$$\frac{4}{3}\pi\ r^3\ \alpha\ A$$

حيث r هى نصف القطر النووى.

$$r \ \alpha \ A^{1/3}$$

$$r = r_o A^{1/3}$$

حيث ro هو ثابت التناسب (Proportionality Constant) نصف قطر الذرة (R) هـو حوالى (10^{-8} cm) بينما نصف قطر النواة (r) هو حوالة (10^{-12} cm). الإليكترونات الموجـودة فـى الـذرة دقيقة جدا، كل له نصف قطر (2.8×10^{-13} cm). بمقارنة أنصاف الأقطـار تلـك يتـضح أنــه يجــب أن يكـون لهـا كمــية كـبيرة مـن الفـضاء الخـالى (Empty Space) . لـتفهم ذلـك فإن ذرة الكالسيوم يمكن اعتبارها. حجمها الذرى هو 10^{-24} C.C (أى $\frac{4}{3} \pi R^3$ حيث R هى نصف القطر الذرى).

فى هذا الحجم توجد النواة والإليكترونات. النواة والإليكترونات معا تشغل فى الواقع 10^{-36} C.C . لـذلك الحجـم الحقيقـى الذى تشغله المواد (النواة والإليكترونات) فى هذه الـذرة هـو فقط ($1 : 10^{12}$) فى الحجم الذرى. هذا الفضاء الحالي يسمح للجسيمات مثل ألفا، والنيوترون بالمرور خلال الذرة بسهولة.

[لـذلك فإنــه فى حالة إمكان جمع النويات التى تكفى لتشغيل حجم واحد سنتيمتر مكعب، فإن الوزن الكلى سيكون حوالى ٢٥٠ مليون طن].

مثال:

قدر كثافة نواة ذرة الذهب. نصف القطر الذرى للذهب هو 7.7×10^{-13} cm.

الحل:

معظـم كـتلة الـذرة تكـون بـسبب الـنواة، الإلـيكترونات بخـلاف الـنواة مـساهمة الإليكترونات هى جزء مهمل فى الذرة. لذلك، فإن كتلة نواة الذهب هى حوالى تلك لذرة الذهب نفسها.

الوزن الكتلى للذهب = 197 a m u

$$1 \text{ a m u} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$$

لذلك، كتلة ذرة الذهب.

$$M = (197 \text{ a m u}) (1.66 \times 10^{-24} \text{ g amu}^{-1})$$

$$= 3.27 \times 10^{-22} \text{ g}$$

حجم النواة

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$= \frac{4}{3} \pi \ (7.7 \times 10^{-13}\ cm)^3$$

$$= \quad 1.9 \times 10^{-36}\ cm$$

الكثافة $= M / V$

$$= \frac{3.27 \times 10^{-22} g}{1.9 \times 10^{-23}\ cm^3}$$

$$= 1.7 \times 10^{14}\ g\ cm^{-3}$$

هذه قيمة ضخمة جدا تبين الكثافة العالية الغير عادية لنواة الذرة.

كثافة معدن الذهب $19.3\ g / cm^3$. لذلك

كثافة نواة الذهب / كثافة معدن الذهب

$$= \frac{1.7 \times 10^{14}}{19.3}$$

$$= 8.8 \times 10^{12}$$

لـذلك، نـواة ذرة الـذهب هـى حوالى 10^{13} ضعف كثافة معدن الذهب. رغم أن معدن الـذهب يحـتوى علـى نـواة ذات كثافة غير عادية، إلا أن الفضاء الخالى فى ذرة الذهب يخفض من كثافة الذرة.

٣ – الدوران النووى والعزم المغناطيسى:

Nuclear spin and Magnetic Moment

كل بروتون فى النواة يدور حول محوره (عزم مدارى زاوى، S)، (Spin Angular Momentum). وكـذلك مداراتـه حول مركز كتلته النووية (العزم الزاوى المدارى -L) (Orbital Angular Momentum)، النيوترونات أيضا تسلك مثل ذلـك. هـذه الـدورانات الطبيعـية للـبروتونات والنيوترونات تتحد لإعطاء محصلة الدوران للنواة (I)

$$I = S + L$$

العزوم الزاوية المدارية والدورانية (Orbital And Spin Angular - Momenta) لمكونات النواة (Nucleons) في النواة تتحد لإعطاء محصلة رقم عزم كمى زاوى، يسمى الدوران النووى (I).

قيمة الدوران النووى تتراوح من $\frac{1}{2}$ إلى $\frac{9}{2}$ للنويات العادية.

النويات ذات الأرقام التى تقبل القسمة على اثنين بدون باقى (Even Numbers) للبروتونات والنيوترونات لهم دورانات صفر (مثل He -4 , C - 12 , O- 16). الزوجية للدورانات ذات الاتجاه المعاكس لكل من البروتونات والنيوترونات فى تلك النويات ينتج عنه محصلة دوران صفر. النويات الغير زوجية (Odd) [أى التى لا تقبل القسمة على اثنين] لها دورانات بدون كسور (Integral). مثل $^{10}_{3}B$ ، I=3. بالنسبة للنويات الفردية الزوجية (Odd - Even) ، الزوجية — الفدرية. (Even - Odd)، قيم I تكون (Odd Half - Integral) مثل $\frac{1}{2}$ ، $\frac{3}{2}$ ، $\frac{5}{2}$ .. الخ. لذلك

I بالنسبة لـ $^{19}_{9}F$ $^{3}_{2}He$ هى $\frac{1}{2}$ لكل.

النويات ذات الدورانات بخلاف الصفر تعمل مثل المغناطيسى ذو القطبين (Magnetic Dipoles)، قطبى النواة ذات الدوران (I) سميك لتصبح منظمة (Aligned) بالطريقة حيث تنتج (2I + I) حالات طاقة لمجال القوة المعطى. الاشعاعات ذات تردد الرنين المناسب، المقابل لفرق الطاقة بين حالتين متجاورتين سوف عندئذ يؤدى إلى تغير فى توجيه الأقطاب، عندئذ الأشعة سيتم امتصاصها. العزم النووى المغناطيسى (M) وتردد الرنين (V) بينهم علاقة طبقا للمعادلة

$$M = \frac{Ihv}{H}$$

حيث

h = هو ثابت بلانك (Planck's Constant) وهو علاقة تردد الإشعاع الكهرومغناطيسى بطاقته

الكمية (= ٦,٦٢٤٩ × ١٠ $^{-٣٤}$ جول ثانية)

H = قوة المجال المغناطيسى المستخدم.

العـزم المغناطيـسى (M) للـبروتون فى وحدة العزم المغناطيسى (Magneton) النووى يعبر عنها بالآتى:

$$Mp = \frac{eh}{4 \pi mpc}$$

حيث:

e = طاقة البروتون.

h = ثابت بلانك.

mp = كتلة البروتون

c = سرعة الضوء.

نظـر لأن mp ضـعف كـتلة الإلـيكترون 1836 مـرة، فـإن العزم المغناطيسى النووى يكون 1÷ 1836 للعزم المغناطيسى للإليكترون (Electron) Magneton of Bohr.

٤– طاقة الرباط النووى: (Nuclear Binding Energy)

طاقـة الـرباط للـنواة هـى الطاقـة الـذى سـوف تـنطلق إذا كانـت الـنويات بنيت من مكـوناتها المنفـردة (Individual Nucleons) فمـثلا، نـواة Li-7 ممكـن تـصورها أنهـا تكونت بالجمع معا لعدد ٣ بروتونات، عدد ٤ نيوترونات.



$$3p + 4n \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + \text{طاقة الرباط}$$

الطاقـة المـنطلقة تـرجع إلى تحـويل الكتلة إلى طاقة. جزء من الكتلة لمواد التفاعل يتم فقـده كطاقـة. لـذلك فـإن كـتلة الـنواة المـتكونة ${}^{7}_{3}Li$ أقـل عـن مجمـوع كـتل الـثلاث بـروتونات، الأربـع نيوتـرونات. كتلة الذرة ذات نظير مستقر تكون دائما أقل من مجموع كـتل الـبروتونات، النيوتـرونات والإليكترونات التى تكون الذرة. هذا الفرق فى اختلاف الكـتلة يـسمى الخلـل الكتلـى (Mass Defect) ويرمـز لـه بالرمـز ΔM . هذا الخلل الكتلـى يمكن أن يكون سالبا للنواة عندما تكون كتلة النواة أكبر من مجموع كتل مكونات النواة (Nucleons) فى تكوينها ، يحدث امتصاص للطاقة.

طاقة الرباط للنواة = الخلل الكتلى (931.5 x a m u) Mev

هذه الطاقة بالنسبة لمعادجلة أنشتين تكون

$$E_B = (\Delta M) C^2$$

حيث :

C = هى سرعة الضوء

M = بالكيلوجرام

C = متر فى الثانية

عندئذ E_B يتم الوصول إلى وحدات جول (Joules). طاقة الرباط للنواة هو مقياس للاستقرار النووى. فهو يزداد مع زيادة عدد (Nucleons) فى النواة. فمثلا، بالنسبة $^{4}_{2}He$ ، النواة ذات أربع نيوكلونات تكون 28.3 Mev ، ولكن بالنسبة لـ $^{12}_{6}C$ ذات اثنى عشر نيوكلون، يزداد إلى92.16 Mev . طاقة الرباط لكل نيوكلون تسمى متوسط طاقة الرباط (The Average Binding Energy). ويعبر عنها بالآتى :

$$\frac{E_B}{A} = \frac{\text{Binding Energy}}{\text{Mas Number}} = \frac{\text{طاقة الرباط}}{\text{العدد الكتلى}}$$

حيث :

E_B = هى طاقة الرباط.

A= العدد الكتلى.

كلما زادت قيمة طاقة الرباط، كلما زاد استقرار النواة.

طاقة الرباط للكربون : Binding Energy Of Carbon

تتكون ذرة الكربون من ستة بروتونات، ستة نيوترونات، ستة إليكترونات.



$$6p + 6n + 6\acute{e} \longrightarrow {}^{12}_{6}C(\text{atom}) + \text{طاقة رباط}$$

مجموع الكتل للجسيمات التى على يسار المعادلة السابقة..

$= 6m_p + 6m_n + 6m_e$

$=6\,(1.007276) + 6\,(1.008665) + 6\,(0.000549)$

$= 6.043656 + 6.051989 + 0.003294$

$= 12.098939$

الكتلة الحقيقة لذرة $^{12}_{6}C$ هى 12.000000 amu. هذه الكتلة أقل من الكتلة التى تم حسابها. هذا يرجع إلى أن الفقد فى الكتلة يحدث عند تكوين ذرة $^{12}_{6}C$

الفقد فى الكتلة = 12.000000 - 12.098939

$= 0.098939$ a m u

مكافئ الطاقة $= 931.5$ Mev x 0.098939

$= 92.16$ Mev لكل ذرة.

∴ طاقة الرباط للكربون بالجول.

$= (1.602177 \times 10^{-19})\ (92.16 \times 10^{6})$

$= 1.47857 \times 10^{-11}$ - Joules

طاقة الرباط لجزئ من الكربون $^{12}_{6}C$

$= (1.4765 \times 10^{-11})\ (6.0221 \times 10^{23})$ Joules

$= 8.822 \times 10^{12}$ J

$= 8.892 \times 10^{19}$ Kj

هـذه كمـية ضخمة من الطاقة. التغيرات فى الطاقة فى التفاعلات الكيمائية هى عادة فى حدود 10^{3} KJ لكل جزئ.

لـذلك فـإن طاقـة الـرباط لــ $^{12}_{6}C$ هـى حـوالى ملـيون ضـعف طاقـة التفاعلات الكيميائية.

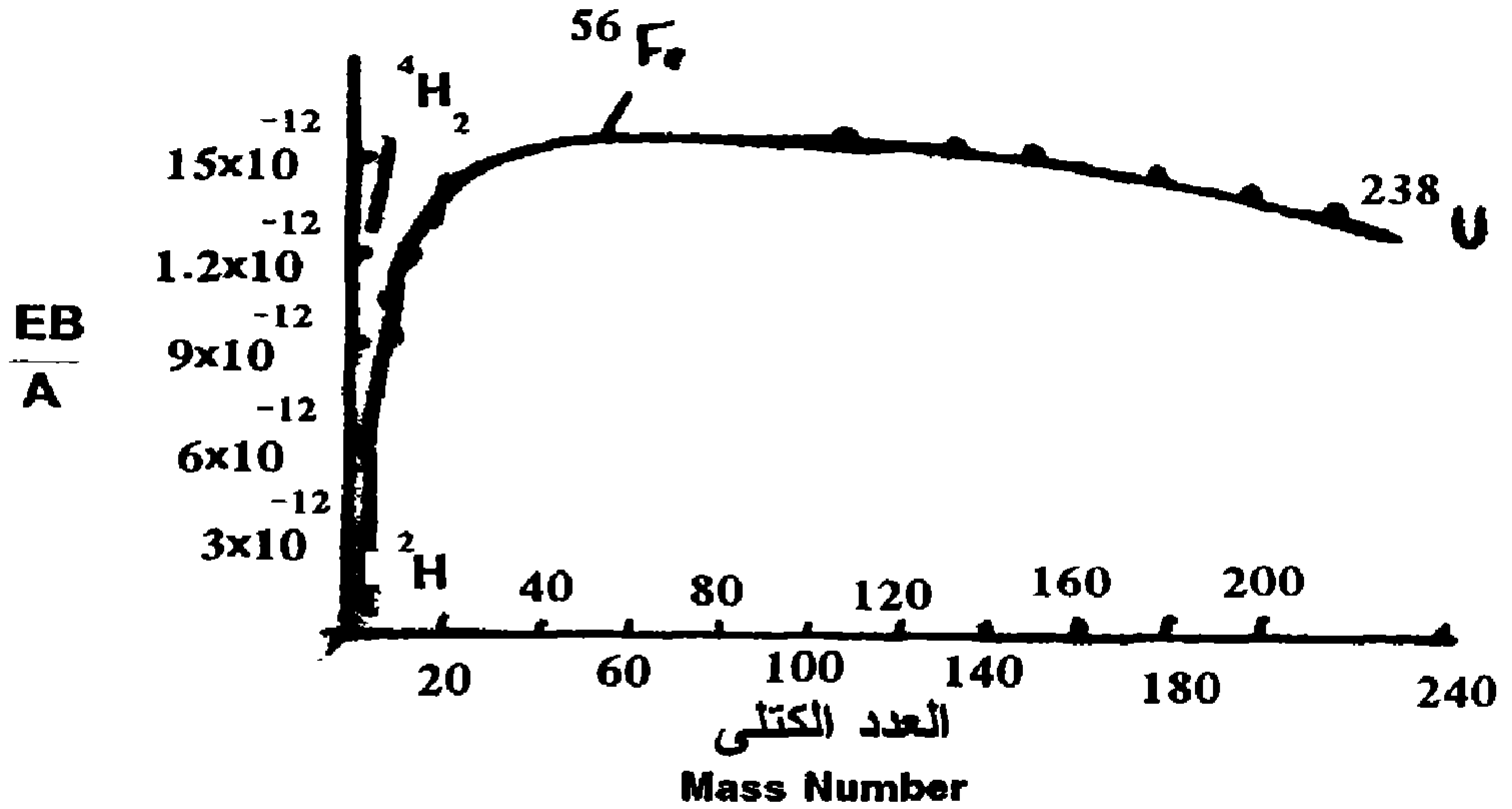
طاقة الرباط لبعض النويات موضح فى الجدول التالى:

(جدول) طاقات الرباط النووى:

متوسط طاقة الرباط Mev	طاقة الرباط Mev	النواة
1.11	2.23	$^{2}_{1}H$
7.08	28.30	$^{4}_{2}He$
5.61	39.24	$^{7}_{3}Li$
7.68	92.16	$^{12}_{6}C$
7.98	127.58	$^{16}_{8}O$
8.03	160.62	$^{20}_{10}Ne$
8.78	491.63	$^{56}_{26}Fe$
7.58	1803.1	$^{238}_{92}U$

٥ – منحنى طاقة الرباط: (Binding Energy Curve)

توقيع طاقة الرباط للنيوكليون (Nucleon) كدلالة للعدد الكتلى (Mass Number) للنويات (Nuclie) يسمى منحنى طاقة الرباط شكل (٢/٣)



شكل (٢/٣) منحنى طاقة الرباط النووى

التدقيق وإمعان النظر فى هذا المنحنى يكشف العديد من الظواهر لهذه العلاقة.

أ – أولا، مع البدء بالهيدروجين، تزداد طاقة الرباط بحدة بشدة طبقا للعدد الكتلى.

ب – تصل الطاقة إلى أقصاها حيث A = 60 (قريبا من عنصر الحديد). هذا يبين انه عند اندماج نويتين خفيفتين لتكوين نواة أكبر، فإنه يجب أن تنطلق طاقة (حيث طاقة الرباط للنواة الأثقل، تكون أكبر من مجموع طاقات الرباط للنويات الأخف). هذا يؤسس الطبيعة الباعثة للطاقة (Exoenergic) فى الاندماج النووى (Nuclear Fusion).

جـ – متوسط طاقة الرباط يلاحظ أنها ثابتة تقريبا لكل النويات، باستثناء قليل من النويات الخفيفة، فهى حوالى 8.5 Mev (1.4×10^{-2} Joules)

د – النقط المقابلة لـ ^{4}He ، ^{12}C ، ^{16}O ، ^{20}Ne ، ^{24}Mg تشكل الأقصى أو الذروة فى المنحنى. كل من تلك النويات له طاقة رباط أكبر من جاراتها. هذا الاستقرار الزائد يعود إلى أن كل من (Z), (A يكون Even أى عدد البروتونات ومجموع عدد البروتونات والنيوترونات يقبل القسمة على 2 بدون باقى.

هـ – متوسط طاقة الرباط يصل إلى قيمة التشبع فى حالة منطقة (A العالية أى أنها لا تزداد باضطراد مع (A) فى هذه المنطقة. هذا يرجع إلى حقيقة أن القوى النووية هى قصيرة المدى (Short - Ranged) ولذلك تصبح مشبعة (Saturated) طبقا للحجم النووى (Nuclear Size).

و – يبدأ متوسط طاقة الرباط فى الهبوط عند حوالى A = 100 هذا يبين أن النويات الكبيرة ليست مستقرة. العدد الكبير من النيوترونات فى تلك النويات ينتج تنافر كولومبى قوى. مثل هذا التنافر يعادل جزئيا القوى النووية. لذلك، فإنه يمكن تفهم اعتبارات عديدة حول الخواص النووية من مخطط طاقة الرباط.

مثال : (١):

احسب الطاقة المكافئة لواحد a m u حيث

$$1\ a\,m\,u\ (^{12}c\ \text{scale}) = 1.66032 \times 10^{-23} g$$

الحل:

وحدة العدد الكتلى هى 1÷ 12 من كتلة ذرة $^{12}_{6}C$

كتلة ذرة واحدة من $^{12}_{6}C$ هى = 12 ÷ NA جرام حيث NA هو ثابت أفوجادرو.

(ثابت أفوجادرو هو عدد الجزئيات فى الجزئ الجرامى = 6.026×10^{23})

الكتلة فى جرام لـ a m u هى:

$$= \frac{12}{NA} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{(6.022137 \times 10^{23})}$$

$$= 1.660540 \times 10^{-24} g$$

$$= 1.660540 \times 10^{-27} Kg$$

طبقا لمعادلة أينشتين $E = mc2$

فإن الطاقة المكافئة لواحد a m u

$$= (1.660540 \times 10^{-27} Kg)(2.997925 \times 10^{8} m.s^{-1})^{2}$$

$$= 1.492419 \times 10^{-10} J$$

$$lev = 1.602177 \times 10^{-19} J$$

∴ واحد a m u $= \frac{1.492419 \times 10^{-10}}{1.602177 \times 10^{-19}}$ ev

$$= 9.3149 \times 10^{8} \ ev$$

$$= 9.31494 \times 10^{2} \ Mev$$

$$= 931.5 \ Mev$$

مثال: (٢)

احسب طاقة الرباط لكل ينوكلون (بروتون، نيتوترون) لـ ${}^{4}_{2}He$.

الحل:

طاقة الرباط لـ ${}^{4}_{2}He$ يرمز لها بالمعادلة



$$2n + 2p + 2e^{-} \longrightarrow {}^{4}_{2}He \ (atom) + \text{طاقة رباط}$$

مجموع الكتل للمكونات على الجانب الأيسر للمعادلة

$$= 2 \ mn + 2 \ mp + 2mc$$

$$= 2\ (1.00866494) + 2\ (1.00782505)$$

$$= 4.03297998 \ a\ m\ u$$

(الكتلة لعدد اثنين إليكترون يمكن تجاهها لصغرها)

الكتلة الحقيقية لـ ${}^{4}_{2}He$ = 4.00260 a m u

الفقد فى الكتلة يحدث عند تكوين $^{4}_{2}He$ من جسيمات مكوناته. هذا الفقد فى الكتلة.

0.03038 a m u = 4.0060 - 4.032980 = 931.5 Mev = l a m u

∴ 913.5 Mev x 0.03038 = a m u 0.03038 = 28.30 Mev

توجد أربع نيوكلونات فى نواة $^{4}_{2}He$ (2p + 2n). لذلك فإن طاقة الرباط لكل نيوكلون = $\frac{28.30}{4}$ Mev = 7.075 Mev

وهذه تسمى متوسط طاقة الرباط.

مثال: (٣)

احسب طاقة الرباط النووى لـ $^{184}_{74}W$. كتلته النظيرية التجريبية هى 184.006

الحل:

ذرة $^{184}_{74}W$ تحتوى على 74 بروتون، 110 نيوترون، 74 إليكترون.

كتلة $^{184}_{74}W$ يتوقع أن تكون

74 × كتلة البروتون + 110 × كتلة النيوترون + 74 × كتلة الإليكترون

= 74 × كتلة $^{1}_{1}H$ + 110× كتلة النيوترون

a m u (1.002665 x 110 + 1.007825 x 74) =

a m u (110.95315 + 74.57905) =

185.5322 am =

الكتلة النظيرية التجريبية لـ ^{184}w = 184.006 a m u

∴ الخلل فى الكتلة = 1.526 = 164.006 - 185.5322

عندئذ طاقة الرباط النووى:

Mev 931.5 x 1.526 =

1421 Mev =

مثال: (٤)

احسب متوسط طاقات الرباط لـ $^{14}_{7}N$ ، $^{15}_{7}N$ واستنتج استقرارهم النسبى.

الحل:

$^{14}_{7}N$: مجموع الكتل لـ 7p + 7n + 7é

= 7 (1.007276470) + 7 (1.008664904) + 7 (0.000548579)

$= 14.115433\ a\ m\ u$

الكتلة الحقيقية لـ $^{14}_{7}N$ = 14.000307

الخفض فى الكتلة ΔM =

$$\Delta M = (14.11543 - 14.00307)$$

$$= 0.11236\ a\ m\ u$$

متوسط طاقة الرباط = $\frac{0.11236}{14}$ x 931.5 Mev

= 7.84 Mev لكل نيوكلون

$^{15}_{7}N$: مجموع الكتل لـ 7p + 8n 7é

$= 15.12409\ a\ m\ u$

الكتلة الحقيقية لـ $^{15}_{7}N$ = 15.00011

∴ ΔM = 15.00011 - 15.12409

= 0.12398 a m u

∴ عندئذ: متوسط طاقة الرباط

$$= \frac{931.5 \times 0.12398}{15} \quad Mev$$

= 7.699 Mev لكل نيوكلون

متوسط طاقة الرباط لـ $^{15}_{7}N$ أكبر من تلك لـ $^{14}_{7}N$. لذلك نواة $^{15}_{7}N$ يتوقع ان تكون أكثر ثباتا عن $^{14}_{7}N$

الثبات العالى لـ $^{15}_{7}N$ أكثر من $^{14}_{7}N$ يمكن أن يعود إلى نواته ذات (Odd-Even) مقارنة إلى نواة ^{14}N (Pdd - Odd).

النيتروجين فريد حيث النظير الأقل استقرار منه، N^{14} ، له وجود طبيعى وفير عن الأكثر استقرارN^{15}. بالنسبة لمعظم العناصر، الوفرة الطبيعية هى الأكثر للنظائر الأكثر استقرارا.

مثال: (٥)

احسب بالكيلوجرام:

أ – الكتلة الحقيقية لذرة واحدة من $^{12}_{6}C$ (الكتلة النظيرية = 12.0038)

ب – الكتلة الكلية للجسيمات الأساسية الموجودة فى ذرة واحدة لـ $^{12}_{6}C$

جـ – اشرح لماذا يوجد إخلاف بين قيم الكتلة فى (أ)، (ب).

الحل:

أ – كتلة جزئ واحد لـ $^{12}_{6}C$ = 1.200380 جرام

= 12.00380×10^{-2} كجرام

جزئ واحد من الكربون = 6.023×10^{23} ذرات من الكربون

كتلة ذرة واحدة من $^{12}_{6}C$

$$= \frac{12.00380 \times 10^{-2}}{6.023 \times 10^{23}} \text{ Kg}$$

$$= 1.993 \times 10^{-26} \text{ Kg}$$

ب– ذرة $^{12}_{6}C$ تحتوى $6p + 6n + 6e$.

كتلة $P = 1.672 \times 10^{-27}$ Kg

كتلة $n = 9.110 \times 10^{-31}$ Kg

لذلك كتلة ذرة واحدة من $^{12}_{6}C$

$$= 6\,(1.672 \times 10^{-27}) + 6\,(1.675 \times 10^{-27}) + 6\,(9.110 \times 10^{-31}) \text{ Kg}$$

$$= 2.009 \times 10^{-26} \text{ Kg}$$

جـ - الكتلة النظائرية الحقيقية (أ) أقل من تلك الكتلة المحسوبة (ب) لأنه فى تكوين $^{12}_{6}C$ جزء من الكتلة يتحول إلى طاقة. هذه طاقة الرباط.

٦- الاستقرار النووى (Nuclear Stability)

لماذا بعض نظائر العنصر مستقرة بينما البعض الآخر ليي كذلك؟ – لماذا بعض النويات المشعة تتحلل بابتعاث ألفا، البعض بابتعاث بيتا والبعض الآخر بطرق أخرى؟.

لماذا العناصر الخفيفة لها نظائر طبيعية مشعة قليلة، بينما النظائر الطبيعية للعناصر الثقيلة تكون مشعة؟.

هل يمكن امتداد الجدول الدورى للعناصر بدون حد على Z؟ للإجابة عن تلك الأسئلة، تم افتراض قليلا من النظريات حول الاستقرار النووى.

أ – نظرية نقطة السائل للنواة: Liquid Drop Theory of Nucleus

نقطة السائل، متضمنة جزئيات المادة، تتكون فى شكل كروى، بحيث أن التجاذب بين الجزئيات فيها يكون عند أقصاه ولكن فإن استقرارها يكون عاليا. بالمثل، نواة الذرة يتصور أنها تكونت فى شكل كروى وذلك بجمع النيوكلونات مع بعضها. النيوكلونات

(البروتونات + النيوترونات) يمكن أن تتحرك داخل النواة مثل الجزئيات فى السائل. تماما مثل نقط السائل الكبيرة التى هى غير مستقرة، فإن النواة الكبيرة (حيث Z أكبر من 83) تكون غير مستقرة. نقطة السائل تميل إلى التفتت إلى نقطتين أو أكثر من النقط الصغيرة. بالمثل النواة الكبيرة الغير مستقرة، تميل إلى التفتت (حدوث الانشطار) لإنتاج اثنين أو أكثر من النويات الصغيرة الغير مستقرة.

ب- نظرية الغلاف للنواة: (Shell Theory of Nucleus)

فى هذه النظرية، يعتقد أن البروتونات والنيوترونات أنها تشغل مستويات محددة من الطاقة النووية والتى تسمى الأغلفة النووية. تلك الأغلفة تشبه أغلفة الإليكترون. كل غلاف نووى له طاقة محددة وقدرة قصوى لاحتواء البروتونات أو الإليكترونات. بناء الغلاف النووى تم بالإشغال المتتالى لأغلفة البروتون وأغلفة النيوترون، مثل إشغال أغلفة الإليكترون الزائد عن النواة. تماما مثل أشكال نووية معينة المقابلة لأغلفة مقفلة تشكل استقرار زائد للنواة. هذا الموقف من الاستقرار الزائد للنواة الذرية يحدث لأعداد نيو كلونات معينة (بروتون أو نيوترون). تلك الأعداد معطاه فى الجدول التالى والتى تسمى الأعداد السحرية (Magic Number). نظرا لأن تلك النظرية تتعامل مع مكونات النواة (النيوكلونات) كجسيمات مستقلة، ليس كما فى حالة نموذج نقطة السائل، فإنها تسمى النموذج المستقل للجسيم (The Independent - Particle Model).

جدول الأرقام السحرية للاستقرار النووى:

العدد السحرى للبروتونات	العدد السحرى للنيوترونات
2	2
8	8
20	20
28	28
50	50
82	28
114	126
-	184
-	196

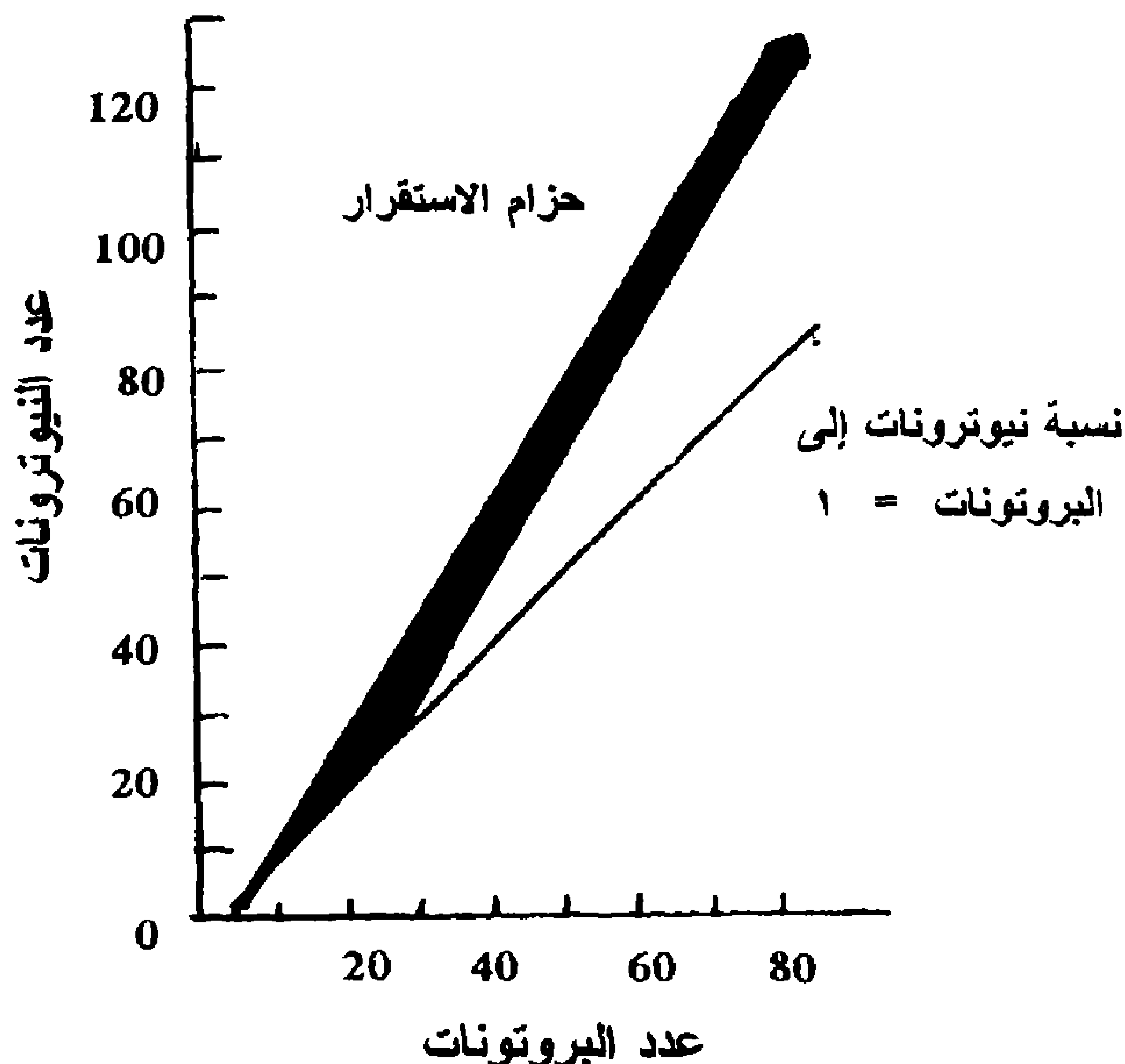
النواة الذرية المحتوية على عدد البروتونات أو العدد السحرى للنيوترونات تسمى نواة العدد السحرى (Magic number Nucleus) كما فى الجدول التالى. النواة ذات عدد سحرى للبروتونات وعدد سحرى للنيوترونات تسمى نواة مزدوجة العدد السحرى (Double Magic Number Nucleus).

جدول – نويات العدد السحرى

النواة	العدد السحري	
	بروتون	نيوترون
H-4	2	2
O - 16	8	8
Ca - 40	20	20
V - 51	-	28
Ni - 58	28	-
Sr - 88	-	50
Sn - 118	50	-
Ca - 140	-	82
Pb - 208	82	126

الزيادة فى نسبة n إلى p مع الزيادة فى Z يكون ضروريا لخفض التنافر P -P داخل النواة. النيوترون فى النواة يفترض أنه يوفر قوة نووية لربط البروتونات والنيوترونات معا فى وحدة نووية مستقرة. التنافر الكهروستاتيكى القوى بين البروتونات موجبة الشحنة فى النواة يتم خفضه بوجود النيوترونات المتداخلة. في عدم وجود النيوترونات فغن البروتونات سوف تطير بعيدا ومنفصلة. لذلك، مع زيادة

(Z) (الرقم الذرى)، لحيد التنافر، فإن عدد الإليكترون يجب أن يزيد لإحداث الاستقرار للنواة.



شكل (٣/٣) توقيع عدد البوتونات مقابل عدد النيوترونات

جـ - قانون هاركن: (Harkin's Rule)

طبقا لهذا القانون، فإن العناصر ذات العدد الزوجى (Even Number) للبروتونات فى النواة (عدد زوجى ذرى) تكون عادة أكثر استقرار عن جيرانها ذات الأرقام) الذرية الفردية (Odd). هذا يعنى أن احتمال تحللها ضعيف، وأنها أكثر وفره. فمثلاً، Zr ذو رقم ذرى زوجى (Z = 40) له عدد أكبر من النظائر المستقرة عن جيرانه $_{39}$Y , $_{41}$N بالإضافة إلى أن Zr موجود بوفره أكثر عن جيرانه. العناصر ذات الرقم الذرى الزوجى تكون غنية بالنظائر ولها لا يقل عن ثلاث نظائر مستقرة. العناصر ذات أرقام ذرية فردية عادة لها فقط نظير واحد مستقر ولا يزيد عن اثنين.

يوجد ميل لأعداد البروتونات وأعداد النيوترونات فى النواة لتكون زوجية . هذا يبين أن النيوكلونات تميل لتكون زوجية مثل الإليكترونات فى المدارات الذرية والجزيئية. اثنين من البروتونات ذات زوج دوران معاكس لبعضهم البعض، بالمثل فإن النيوترونات تكون زوجية (Paired). الزوجية (Pairing) تطلق الطاقة التى تعمل على استقرار النواة.

د – الشاهد على نموذج الغلاف: Evidence For Shell Model

(١) العناصر ذات العدد السحرى للبروتونات لها عدد كبير من النظائر الطبيعية مقارنة بجيرانها في الجدول الدورى. فمثلاً ، القصدير (Tin) ذو عدد سحرى للبروتونات (50) له عشرة نظائر مستقرة.

(٢) المنتج النهائى المستقر للثلاث تسلسلات طبيعية المشعة هي الرصاص الذى له رقم سحرى للبروتونات (82).

(٣) النواة (مثل $^{88}_{38}Sr$ المحتوى على 50 من النيوترونات) ذات عدد سحرى للنيوترونات لا تقتنص نيوترون، النواة)مثل $^{87}_{38}Sr$ ، المحتوية على 49 نيوترون) مع ينوترون أقل عن العدد السحرى للنيوترونات تقتنص سريعا نيوترون للحصول على العدد السحرى.

(٤) النويات ذات العدد السحرى لكل من البروتونات والنيوترونات تكون متوفرة (عالية الاستقرار) فى الطبيعة مثل $^{16}_{8}O$ ، $^{40}_{20}Ca$ ، $^{208}_{82}Pb$.

هـ - زوجية النيوكلون: (Nucleon Pairing):

النويات $^{4}_{2}He$ ، $^{12}_{6}C$ ، $^{16}_{8}O$ ، $^{20}_{12}Ne$ و $^{24}_{12}Mg$ هى نويات مستقرة – طاقة الرباط لكل من تلك النويات أكثر من تلك لجارتها. الاستقرار الاستثنائى لتلك النويات يرجع إلى العدد الزوجى (Even) للبروتونات والعدد الزوجى للنيوترونات. النيوكلونات (Neuclons)، مثل الإليكترونات الزائدة عن النواة يفترض انها زوجية. كما فى حالة الإليكترونات الزوجية الأكثر استقرار عن الإليكترون الفردى فى المدار الإليكترونى، فإن النيوكلونات الزوجية تكون مستقرة. الزوجية الكاملة لكل البروتونات (Z) وكل النيوترونات (N) ممكن فى حالة احتواء النواة على عدد زوجى من البروتونات وعلى عدد زوجى من النيوترونات. الزوجية الكاملة للنيوكلونات المتماثلة تسبب استقرار زائد للنواة. فمثلاً، نواة $^{12}_{6}C$ أكثر استقرار عن نواة $^{13}_{6}C$ ، فى الأولى كل النيوكلونات (مكونات النواة) زوجية، بينما فى الأخيرة، فإن نيوترون واحد يظل غير زوجى.

عند تطبيق مفهوم زوجية النيوكلون مقابل الاستقرار النووى لكل النظائر المعروفة، فإن غالبية النظائر المستقرة وجد أن لها عدد زوجى للنيوكلون لكل نوع كما فى الجدول:

جدول عدد النظائر المستقرة للنويات طبقا لزوجية النيوكلون

النوع	عدد النويات المستقرة
Z زوجى - N زوجى (Even Z - Even N)	165
Z زوجى - N فردى (Even Z - odd N)	56
Z فردى - N زوجى (odd Z — Even N)	53
Z فردى - N فردى (odd Z - odd N)	9

عموما تسلسل الاستقرار للنويات بالنسبة للزوجية هو

Z زوجـى — N زوجـى > Z زوجـى — N فـردى = Z فـردى — N زوجـى > Z فردى — N فردى.

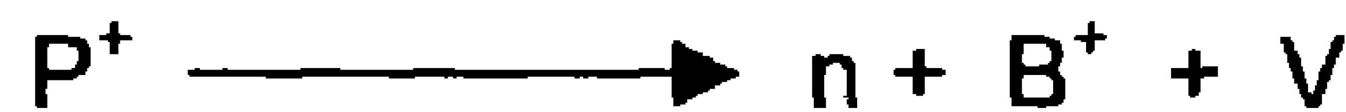
مـن بـين الـنويات فـردى — فـردى $^{2}_{1}H$ ، $^{6}_{3}Li$ ، $^{10}_{5}B$ ، $^{14}_{6}N$ هـى نويات خفـيفة مـستقرة. النويات الأخرى فردى — فردى توجد فقط فى شكل آثار (Traces) فـى الطبـيعة وتكون مشعة مثال $^{50}_{23}V$ كما أن كل الذرات المعروفة ذات Z أكبر من83 تكون مشعة.

و — الاستقرار النووى وابتعاث البوزيترون:

Nuclear Stability And Positron Emission

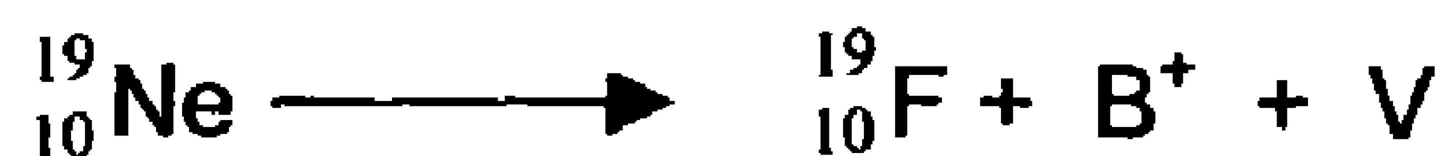
الـنواة الغـير مـستقرة ذات نـسبة n : P منخفـضة جـدا بالنـسبة للاستقرار يمكن أن تبعث بوزيترون (B^+). البوزيترون هو جسيم له نفس الكتلة مثل الإليكترون ولكن بشحنة موجبة تساوى فى المقدار شحنة الإليكترون.

البروتون فى النواة يتحول إلى نيوترون وبوزيترون في هذا الشكل للتحلل



$$P^+ \longrightarrow n + B^+ + V$$

فمـثلاً $^{19}_{10}Ne$ هـى نـواة غـير مـستقرة وذات نـسبة n : p 0.9 ، وهـى تـبعث بوزيترون، حيث تزداد هذه النسبة إلى ١ : ١



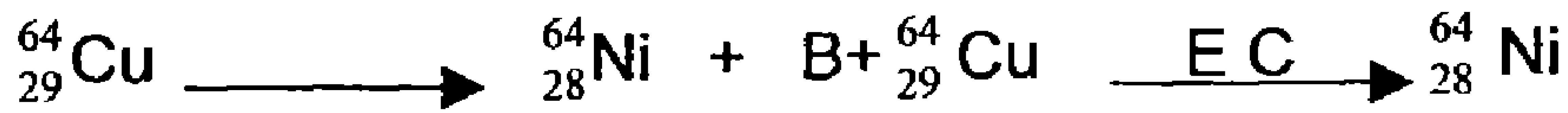
$$^{19}_{10}Ne \longrightarrow ^{19}_{10}F + B^+ + V$$

نـواة Ne الأصـلية لهـا عـشرة إلـيكترونات، نـواة الفلـور المنتجة لذلك تتكون بعشرة إليكترونات وبذا فإنها أولا تكون F^- .

ابتعاث البوزيترون يصاحبه إبتعاث النيوترينو (Neutrion) (أى ابتعاث 'B يصاحبه ذلك للأنتى نيوترينو $\bar{V}$).

أى تحلل B يشمل الابتعاث الفورى للنيوترينو. الأنتى نيوترينو (Antineutrino) هو الجسيم المضاد للنيوترينو (Neutrino) كما فى حالة البوزيترون الذى هى الجسم المضاد (Antiparticle) للإليكترون.

كلا من ابتعاث البوزيترون واقتناص الإليكترون يزيد نسبة n : P (النيوترون إلى البروتون). كلا هذين الاثنين هما نماذج تحلل تنافسية. مع بعض النويات المشعة يحدث كليهما، أى بعض النويات تتحلل بابتعاث البوزيترون والبعض الآخر باقتناص الإليكترون (E C).



$$^{64}_{29}Cu \longrightarrow \, ^{64}_{28}Ni + B + \, ^{64}_{29}Cu \xrightarrow{EC} \, ^{64}_{28}Ni$$

بالنسبة للنويات ذات نسبة n : P منخفضة، فإن اقتناص الإليكترون يحدث تفضيليا عندما تكون Z عندئذ يحدث ابتعاث للبوزيترون. النويات النشطة حيث Z أقل من 30 غالبا ما يتم التحلل فى معظمه بابتعاث البوزيترون. عندما تكون Z > (أكبر من 70، يحدث إقتناص إليكترون فقط. فى ابتعاث البوزيترون، تكون كتلة ذرة المنتج أقل من تلك لكتلة ذرة التفاعل بقدر كتلة البوزيترون وإليكمترون. مكافئ الطاقة للخفض فى الكتلة.

= 2 (كتلة الإليكترون) × 931.5 Mev

= 2 (5.4858×10^{-4}) x 931.5 Mev

= 1.022 Mev

لذلك فإن معيار الطاقة لابتعاث B^+ هو أن التحلل يجب أن يشمل خفض فى الكتلة يقابل 1.022 Mev.

مثال:

أوجد الشكل الأكثر احتمالا لتحلل $^{13}_{7}N$

الحل:

نسبة n : P لـ $^{13}_{7}N$ هى 6 : 7 = 0.86

هذه منخفضة لاستقرار النواة. لذلك، لزيادة النسبة، إما أن يحدث اقتناص للإليكترون أو ابتعاث B^+ هو المحتمل حدوثه.



$$^{13}_{7}N \longrightarrow {}^{13}_{6}C^{-} + B^{+} + V$$

كتلة $^{13}_{6}C$ = 13.00335 u

كتلة $^{13}_{7}C$ = 13.00574 u

يوجد خفض فى الكتلة نتيجة ابتعاث B^{+} . مكافئ الطاقة لخفض هذه الكتلة هو (13.00574 - 13.00335) = 2.23 Mev

وهـذا أكـبر من متطلبات الطاقة (1.022 Mev) لابتعاث البوزيترون. لذلك يتوقع أن $^{13}_{7}N$ سـوف يـتحلل بابـتعاث الـبوزيترون. وفـى الواقـع فهو باعث للبوزيترون ابتعاث البوزيترون هو الشكل الأكثر احتمالا للتحلل لزيادة نسبة n : P بين النظائر النشطة ذات Z أقل 30.

٧ – القوى النووية : (Nuclear Forces) :

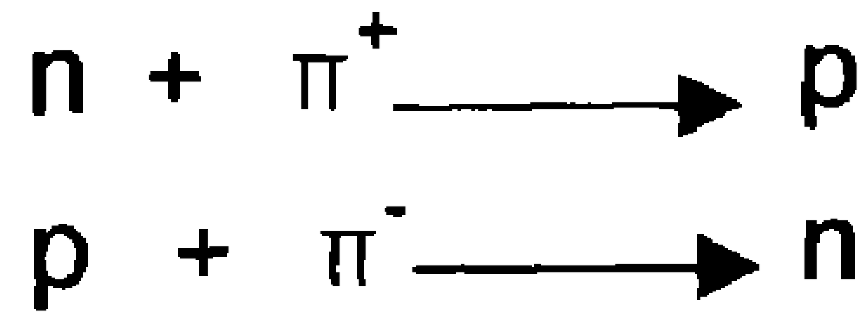
أ – نظرية يوكاوا : (Yukawa' Theory)

الـبروتونات لهـا شـحنة موجـبة. لـذلك فـإن وجود اثنين أو أكثر من بروتونات ذات شـحنات مـتماثلة فـى الـنواة يـتوقع أن يحـدث تنافـر بـين بعضهم. بالرغم من مثل هذا التنافـر الكهروسـتاتيكى، فـإن نـواة الذرة تكون مستقرة. هذا يدل ضمنا إلى أنه يجب أن يـوجد بعـض مـن قوى الجذب داخل النواة، أقوى بكثير من قوى التنافر قوى التجاذب هذه لا يمكن أن تكون كهروستاتيكية كالآتى:

(أ) النواة لا تحتوى جسيمات ذات شحنة مضادة.

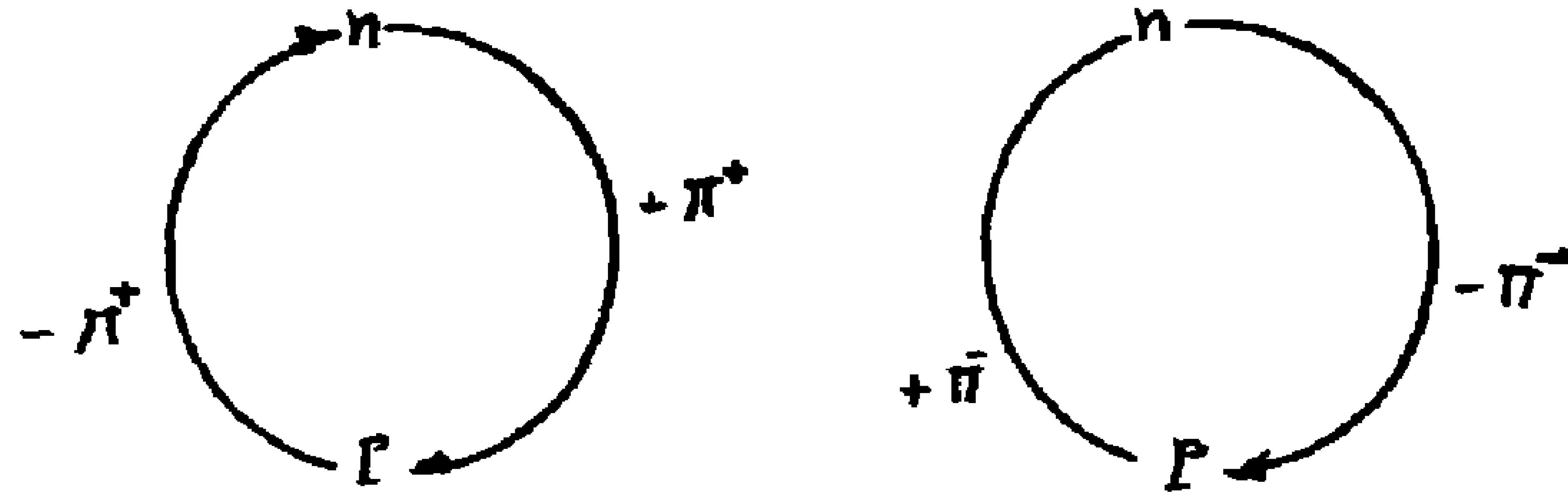
(ب) القـوى الـنووية تكـون مؤثـرة فقط على مسافة قصيرة جدا وتهبط فوق من 2 - 3 فمـتومتر (10^{-15} m) (القـوى الكهروسـتاتيكية، علـى العكـس تنخفض ببطء مع المسافة. لتفسير هذه الحقائق، اقترح يوكاوا نظرية تسمى مجال نظرية الميزون (Meson Field Theory)، [الميـزون دقـيقة ذات كـتلة وسـط بـين الـبروتون والإلـيكترون]. طـبقا لهذه النظـرية، جـسمين نـووين يكـون مـرتبطين بتبادل الجسيم. هذا مثل ذرتين مرتبطين معا بمقاسمـة الإلـيكترونات. هـذا الجـسيم يتصور أن يتم استبداله باستمرار بين النيوكلونات (الـبروتونات والنيوترونات). الجسيم المستبدل يسمى (π - Meson). الميزون يمكن أن يكون موجب، سالب أو متعادل.

تبادل الجسيم الحامل للشحنة يحول البروتون إلى نيوترون والعكس.

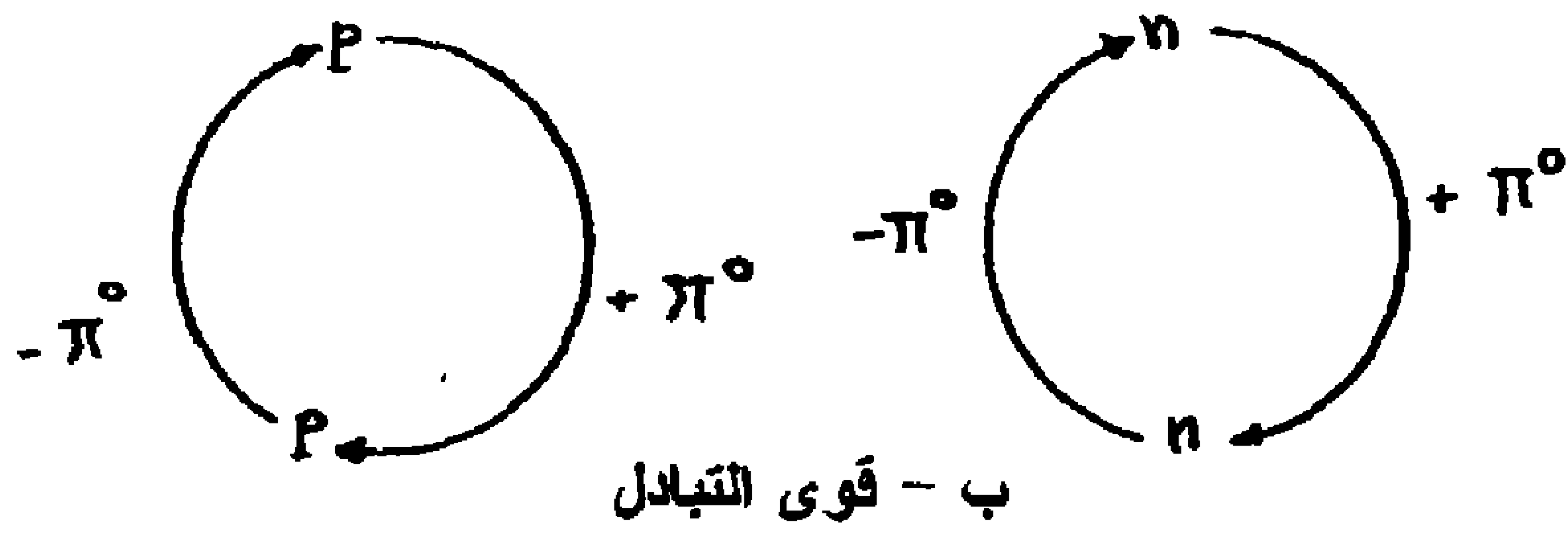


$$n + \pi^{+} \longrightarrow p$$
$$p + \pi^{-} \longrightarrow n$$

مثل هذا التبادل شكل (٤/ ٣) يؤدى إلى قوى الجذب بين النيوكلونات. هذا التبادل يحدث بسرعة عالية بحيث أن الميزونات تحافظ على اثنين من النيوكلونات ملتصقين معا. تبادل π^{+} و π^{-} هو السبب للرباط بين النيوكلونات.



أ – قوى التبادل



ب – قوى التبادل

شكل (٣/٤) قوى التبادل

الميزون π^{0} يتم تبادلة بين اثنين من البروتونات أو بين اثنين من النيوترونات. قوى الجذب الميزونية (Mesonic) لا تتوقف على شحنة النيوكلونات. قوى الجذب بين p, p وبين n, n وبين n, p تكون متشابه فى القوة.

عدد كبير من قوى الميزون داخل النواة تعمل كغراء لربط النيوكلونات. النيوكلونات يقال أنها مجال للجذب الذى وجد بواسطة الميزونات والذى يسمى مجال الميزون (Meson Field).

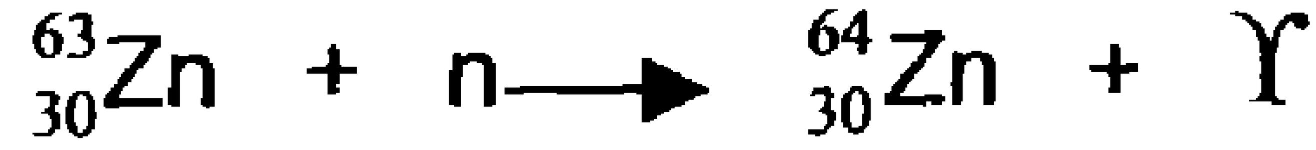
كتلة π^{0} هى 246 ضعف كتلة الإليكترون. كتل π^{+} ، π^{-} متساوية ، 274 ضعف تلك للإليكترون.

الميزونات هى جسيمات عنصرية (Elementary particles).

وهى غير مستقرة خارج النواة.

مثال:

فى التفاعل بين Zn والنيوترونات البطيئة.



$${}^{63}_{30}Zn + n \longrightarrow {}^{64}_{30}Zn + \Upsilon$$

أشعة Υ تنتج بطاقة 9.0 Mev. ما هى كتلة نواة ^{64}Zn ؟.

الحل:

كتلة ^{63}Zn = 62.9522 u

كتلة n = 1.00866 u

إجمالى كتلة مواد التفاعل

= u ((1.00866 + 62.9522

= 63.9609 u

طاقة إشعاع Υ ينتج من الكتلة. هذه الكتلة

$$= 9.0\ Mev \left(\frac{1\ u}{931\text{-}5Mev}\right)$$

$$= 0.00966\ u$$

الكتلة المتوقعة لـ ^{64}Zn هى:

= (63.9609 - 0.00966) u

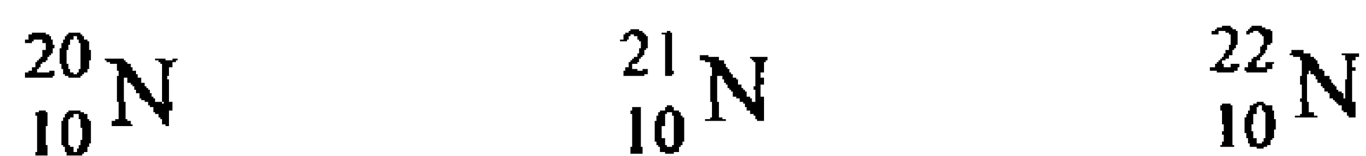
= 63.9512 u

عند حل هذه المسألة يتم إهمال طاقة n لكونها منخفضة جدا ويفترض أن أشعات جاما (Y) يعود إليها كل الفرق فى طاقة الرباط بين الهدف والمنتج.

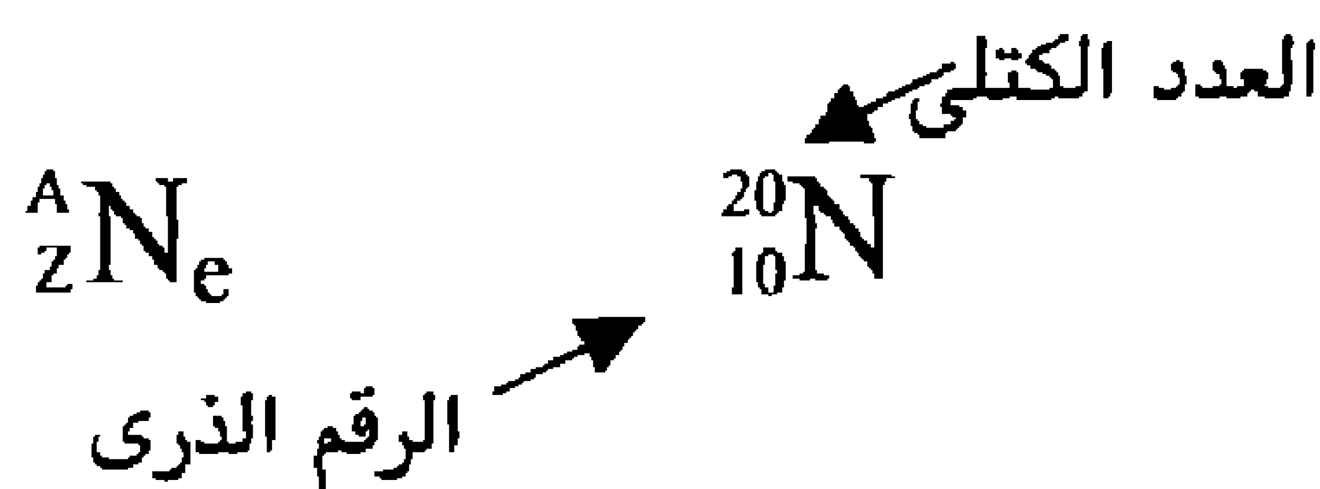
الفصل الرابع

النظائر (Isotope)

العينة الطبيعية للنيون تحتوى ثلاث أنواع من ذرة النيون . هذه الثلاث أنواع تحتوى نفس العدد من البروتونان وأعداد مختلفة من النيوترونات. وهذه يرمز لها بالآتى:



الرقم اليسار السفلى يمثل الرقم الذرى، الرقم اليسار العلوى يمثل العدد الكتلى للذرة.



تلك الذرات الثلاث لـ Ne تسمى نظائر النيون.

نظائر العنصر تحتوى على نفس العدد من البروتونات (Z) ولكن أعداد مختلفة من النيوترونات فى نواياتها، ولذلك يكون لها عدد كتلى (Mass Number) مختلف.

الثلاث نظائر لـ Ne فى الطبيعة توجد بالنسب الآتية:

Ne - 20: Ne-21: Ne - 22 = 90.9% : 0.26% : 8.82%

الثلاث نظائر المعروفة للهيدروجين موضحة فى الجدول التالى:

جدول ( ) نظائر الهيدروجين:

الرمز	الاسم	عدد البروتونات	عدد النيوترونات	العدد الكتلى	الوفرة فى الطبيعة	الاستقرار
$^{1}_{1}H$	هيدروجين	1	0	1	99.985	مستقر
$^{2}_{1}H$	ديتريوم هيدروجين ثقيل	1	1	2	0.015	مستقر
H	تريتيوم	1	2	3	0	غير مستقر

الوزن الذرى للنيون الطبيعى يتم حسابه من الكتل الحقيقية ونسبة الوفرة لنظائره الثلاث.

النظير	الكتلة النسبية × نسبة الوفرة	=	إجمالى الكتلة
Ne - 20	19.99 x 0.9092	=	18.17
Ne - 21	20.99 x 0.0026	=	0.05
Ne - 22	21.99 x 0.0882	=	1.94
	الوزن الذرى	=	20.16

تلك النسب تسمى نسبة الوفرة الطبيعية لنظائر النيون. هذه تمثل نسبة الذرات للنظائر فى عينة اليورانيوم الطبيعى. لذلك، فى 1000 من ذرات اليورانيوم، الطبيعى، 909 ذرة تكون ذات Ne - 20.

نسبة الوفرة الطبيعية تختلف باختلاف العناصر. فمثلاً، الهيدروجين الطبيعى هو خليط من $^{1}_{1}H$ ، $^{2}_{1}H$ مع نسبة وفره 99.99% : 0.010% بعض العناصر توجد فى الطبيعة فى شكل نوع واحد من الذرات، وهى ليس لها نظائر. فمثلاً، الفلور فى الطبيعة يكون $^{1}_{1}Fe$ بنسبة 100%.

اليورانيوم الموجود فى الطبيعة هو خليط من ثلاث نظائر

U - 238	U – 235	U – 234
99.28 %	0.715 %	0.0058 %

[يوجد حوالى 2600 عنصر معروف، نظائر لحوالى 110 عنصر. من بينهم حوالى 300 يكون مستقرا والباقى مشع].

١- خواص النظائر:

أ – نظائر العنصر له نفس عدد البروتونات ولكن أعداد النيوترونات مختلفة.

ب – النظائر الطبيعية لعنصر توجد ثابتة لعدد الذرات النظائرية بصرف النظر عن مصادرها أو حالاتها الكيمائية.

جـ – نظائر العنصر لها خواص طبيعية مختلفة قليلا. فمثلاً، نقطة الغليان لـ $H_2(1)$ هى 20.4k . بينما تلك لـ $D_2(1)$ هى 23.7k .

د – معدلات النشاط لنظائر العنصر تختلف، هذه الخاصية تسمى التأثير النظائرى الحركى (Isotopic Kinetic Effect) فمثلاً، تفاعل الاستبدال بين CH_4، CL - 35 وذلك بين CH_4، CL - 37 تحت ظروف متشابهة تجريبية يتقدم بمعدلات مختلفة. عندما تكون نظائر مختلفة لعنصر ضمن مكونات مركبين متشابهين، عندئذ فإن المركبين

قد يكون لهم نشاط تفاعل مختلف. مثل هذا الاختلاف في النشاط الكيمائي يعود إلى الفرق في قوى الرباط المتكونة بمختلف النظائر. فمثلاً، المركبين $CH_3 - OH$ و $CH_3 - OD$ يمكن أن يظهرا أنشطة مختلفة نحو مواد معينة. الاختلاف بين رباط $O - H$، $O - D$ هو المسئول عن هذا الاختلاف في النشاط.

ه- نظائر العنصر يمكن أن تكون أو لا تكون مشعة فمثلاً، بالنسبة للنظيرين الثقيلين للهيدروجين، $^{3}_{1}H$ هو المشع ولكن $^{2}_{1}H$ ليس مشعا.

جدول جدول النظائر لبعض العناصر

العنصر	Z	عدد النظائر المستقرة	العدد الكتلى(Mass Number)
H	1	2	1 , 2
He	2	2	3 , 4
C	6	2	12 , 13
O	8	3	16 , 17 , 18
F	9	1	19
Ne	10	3	20 , 21 , 22
Cl	17	2	35 , 37
Ca	20	6	40 , 42 , 43 , 44 , 46 , 48
Sn	50	10	112 , 114 , 115 , 116 , 117 , 118 , 119 , 120 , 122 , 124

مسألة: (١)

الكريبتون الطبيعى هو خليط من خمسة نظائر

الكتلة النظائرية النسبية 80 82 83 84 86

الوفرة ٪ 2 12 12 57 17

باستخدام تلك البيانات احسب الكتلة الذرية النسبية للكريبتون الطبيعى.

الحل:

الكتلة النسبية الطبيعية للكريبتون الطبيعى

$$= \frac{(86 \times 17) + (84 \times 57) + (83 \times 12) + (82 \times 12) + 80 \times 2)}{100}$$

$$= 83.9$$

مسألة : (٢)

عينة طبيعية من الرصاص، عند التحليل الطيفى (Mass Spectrum) وجد أنه يحتوى على أربع نظائر.

العنصر	الوفرة ٪	الكتلة (U)
$^{204}_{82}Pb$	1.4	203.97
$^{206}_{82}Pb$	24.1	205.97
$^{207}_{82}Pb$	22.1	206.98
$^{208}_{82}Pb$	52.4	207.98

احسب الوزن الذرى للرصاص :

الحل :

الوزن الذرى للرصاص = $(0.241 \times 205.97) + (0.014 \times 203.97)$

$+ (0.524 \times 207.98) + (0.221 \times 206.98)$

$= 207.2$ u

٢ - فصل النظائر : (Separation of Isotopes) :

بعد اكتشاف U - 235، بدأ ارتياد طرق فصل النظائر ذلك بسبب المطلوب من زيادة نسبة U - 235 عن U - 238 لاستخدام فى المفاعلات النووية وتصنيع القنبلة الذرية. العديد من الطرق متاح حاليا لفصل النظائر. مبادئ هذه الطرق مبنى أساس على العوامل التالية :

أ - عند درجة حرارة معينة، فإن جزئيات الغازات بصرف النظر عن الكتلة لها نفس متوسط الطاقة الحركية.

ب - قوى الجاذبية أو قوى الطرد المركزى التى تعمل على الجسيم تتناسب مباشرة مع كتلته.

جـ - القوى الكهربية والمغناطيسية التى تعمل على الذرات المؤينة أو الجزئيات تتبع قانون كولومب.

د - النشاط الكيميائي لنظائر العناصر الأخف يختلف قليلاً.

٣ - معامل فصل النظائر (Isotope Saration)

إن درجة فصل نظيرين من خليط منهما فى مرحلة واحدة من عملية الفصل هو معامل الفصل. ويرمز له بالرمز (S) ويعبر عنه رياضيا كالآتى:

$$S = \frac{N_1 / N_2}{n_1 / n_2}$$

حيث:

n_1 = عدد أصناف النظائر الخفيفة قبل عملية الفصل.

n_2 = عدد أصناف النظائر الثقيلة قبل عملية الفصل.

N_1 = عدد أصناف النظائر الخفيفة بعد عملية الفصل.

N_2 = عدد أصناف النظائر الثقيلة بعد عملية الفصل.

مقدار (S) يبين تأثير الفصل. عادة فى كل مرحلة من الفصل تكون (S) أكبر قليلا عن واحد. لذلك، فإن الفصل الكبير يتطلب العديد من المراحل للفصل. إذا استخدمت مراحل ($\nsucc$) فى الفصل، عندئذ فإن (S') تمثل المعامل الكلى للفصل.

أ- **طريقة الدفق الغازى** (Gasious - Effusion Method)

تستخدم هذه الطريقة طبقا لقانون جراهام للانتشار (Diffusion):

الذى ينص على الآتى:

المعدلات التى عندها تنتشر الغازات المختلفة عند نفس درجة الحرارة تتناسب عكسيا مع الجذور التربيعية لكثافاتها. رياضيا بالنسبة لغازين فإن هذا القانون يرمز له بالآتى:

$$S = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

الرمز (S) هو معامل الفصل.

V_1 ، V_2 هما معدلات الانتشار.

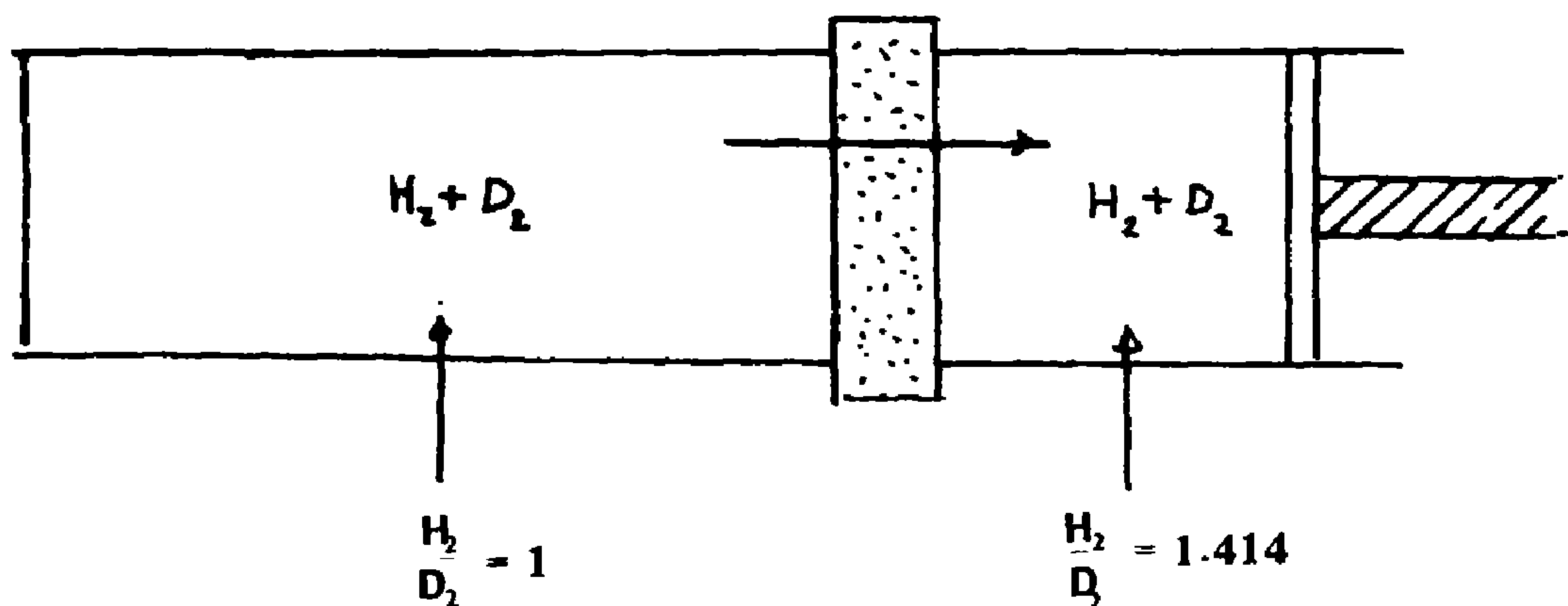
m_1 ، m_2 هما الكتل لكل من الغازين (حيث تستخدم الكتل بدلا من الكثافات نظرا لأن كلاهما يتناسب مع الآخر). مقدار (S) يبين كيف أنه يمكن فصل الغازين جيدا في مرحلة واحدة من عملية الدفق.

الانتشار (Diffusion) هو العملية التى بها يختلط غاز مع غاز آخر بالتدريج. الدفق (Effusion) هو العملية التي بها يهرب الغاز تحت الضغط من غرفة إلى أخرى خلال فتحة صغيرة. معدل الدفق تنطبق عليه كذلك قانون جراهام.

إذا كان الغاز مكونا من اثنين من النظائر مارا خلال حاجز سامى إلى وعاء مفرغ، فإن النظير الأخف ينتشر أكثر سرعة على الأثقل. لذلك، ولفترة زمنية قصيرة، بعد بدأ دفق الخليط، فإن الكمية النسبية للنظير الأخف فى الوعاء المفرغ تكون أكبر عن تلك فى الجانب الآخر للحاجز.

فمثلاً: دفق خليط H_2 ، D_2 بالمرور خلال حاجز سامى شكل (٤/١) . معامل الفصل لهذا هو.

$$S = \sqrt{4/2} = 1.414$$



شكل (٤/١) فصل H_2 -D_2 بالتدفق الغازى

الغاز المتدفق فى الوعاء له كمية أكبر من H_2 عندئذ يتدفق مره أخرى، خلال الحاجز السامى الثانى، بما يؤدى إلى زيادة نسبية فى كمية H_2 . بتكرار هذه العملية عدة مرات يمكن الحصول على عينة من H_2 خالية فى الغالب من D_2 .

خليط 235 - U، 238 - U يمكن فصله بهذه الطريقة. هذين النظيرين يمكن تحويلهما إلى مركباتهم الغازية UF_6 عند 56^0C قبل الفصل. الوزن الجزئى لكلا الفلوريدات هو 352، 349.

لذلك فإن معامل الفصل لخطوة الدفق.

$$= \frac{\text{معدل الدفق لـ } {}^{235}UF_6}{\text{معدل الدفق لـ } {}^{238}UF_6}$$

أو $$S = \left[\frac{6(19)+238}{6(19)+235}\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{352}{349}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 1.0043$$

عند هذه القيمة التى هى أكبر من واحد قليلا، فإنه يلزم التخطيط الآلاف من خطوات الدفق للفصل الكثير. بعد المرحلة الثانية فإن معامل الفصل الكلى يصبح $1.004 \times 1.004 = 1.008$ ، تحسن قليل. بعد مراحل n يصبح $(1.004)^n$.

للاستخدام كوقود فى مفاعل نووى، فإن محتوى الوقود من 235 - U يزداد عادة من الطبيعى 0.7%. للاستخدام فى القنبلة الذرية، 235 - U يجب أن يكون بنسبة نقاء تصل إلى 100% لتحضير 235 - U بنسبة نقاء ٩٩٪، يلزم استخدام حوالى 4000 مرحلة فصل.

عندما تكون n ضخمة جدا، فإن معامل الفصل يكون كبيرا بشكل واضح بما يؤدى إلى الفصل الكثير للنظائر.

ب- طريقة التقطير: (Distillation Method)

نظائر العنصر لها خصائص طبيعية مختلفة إلى حد ما. هذا الاختلاف ينتج من الاختلاف فى كتلتهم النووية (Nuclear Masses) كلما زاد الفرق فى كتلتهم النسبية، كلما زاد الفرق فى خواصهم الطبيعية.

${}^2_1H$ يختلف عن ${}^1_1H$ بنسبة 100% فى كتلته النسبية. ولكن ${}^{13}_{6}C$ يختلف عن ${}^{12}_{6}C$ بما يعادل 1÷ 12 فقط فى كتلته النسبية.

لـذلك، فـإن نظائر العناصر (الخفيفة مثل الهيدروجين ذات الفرق الكبير فى كتلتهم، لهـم خـواص طبيعـية مخـتلفة كثيرا. هذا هو الأساس فى فصل النظائر بالتقطير. فمثلاً، H_2O . D_2O لهـم ضـغوط بخار مختلفة. حيث D_2O يغلى عند $101.42\ ^{o}C$، بينما H_2O يغلـى عند $100\ ^{o}C$ عند الضغط الجوى. لذلك، عند تقطير هذا الخليط. باستخدام عامود التقطير الجزئى (Fractionating Column) فإن المقطر يصبح باستمرار فقيرا فى D_2 .

جـ - الطريقة الإليكترونية (Electrolytic Method)

تم تطويـر الطـريقة الإليكترونـية بواسـطة (H.C.Very And Washbur) لفصل D_2O مـن المـاء H_2O فـى مجـال حامـضى أو قلـوى. يتـصاعد H_2 بـسرعة أكبر من D_2 (H_2O يـتحلل أكثـر مـن D_2O) عند التحليل الكهربى لخليط من $H_2O - D_2O$. محلول نصف جزئـى(0.5 M) مـن إيدروكـسيد الـصوديوم يـتم تحليله كهربيا (Electrolysed) لحين وصـول حجمـه إلى عـشر حجمـه الأولى. المحلـول القلوى المركز يتم معادلته بثانى أكسيد الكـربون عـندئذ يـتم تقطـيره لفصل الكـربونات. المقطر (The Distillate) يحتوى على نسبة أكبر من D_2O عن الماء الأصلى المستخدم فى تحضير المحلول القلوى.

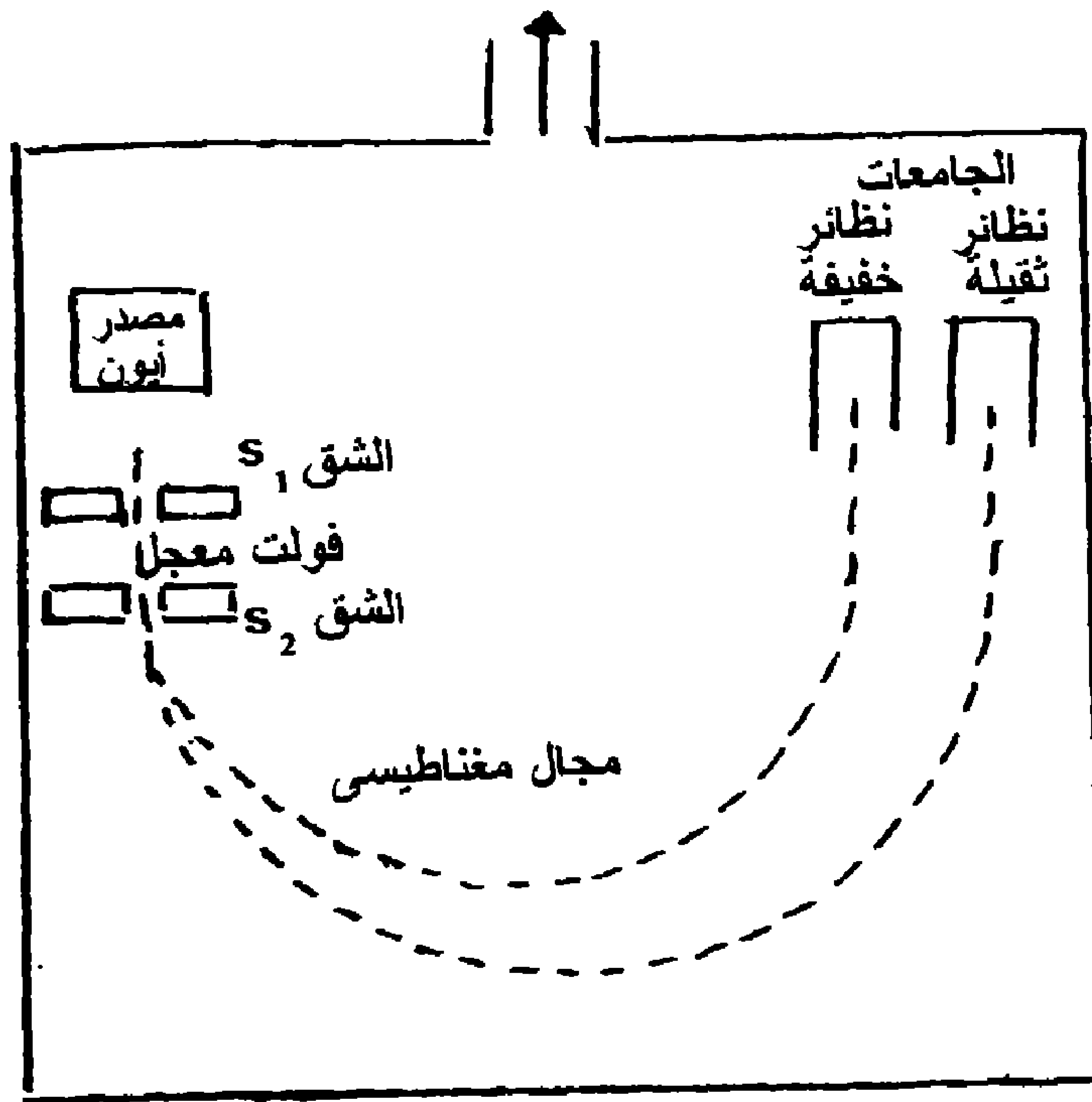
يتم تحويل المقطر إلى القلوية ثم التحليل الكهربى — عملية التعادل وإزالة الكربونات يـتم تكـرارها. نـسبة D_2O إلى H_2O تكـون أكـبر ف المقطـر الثانـى مقارنة بالأول. بتكرار التحلـيل الكهربـى عـدة مرات فى عدة مراحل، يتم الحصول على عينة من الماء محتوية علـى 99% مـن D_2O ، 1% مـن H_2O. فـى كـل مـرحلة يـتم تحللH_2O تفضيلياً، بذا تنخفض نسبته فى المخلوط.

الاسـتهلاك العـادى فى هذا الفصل مرتفع. عند البدء بحوالى ٢ لتر من الماء الطبيعى، سيتم الحصول على 0.1 C.C من D_2O (٠,١ سم٣).

د – الطريقة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Method)

فـى هذه الطريقة يتم بتخير نظائر العنصر وعندئذ يتم الحصول على الأيونات الموجبة للـذرات النظائـرية. تلـك الأيـونات يـتم عـندئذ إسـراعها (accelerated) بواسطة مجال كهربـى وتركيـزها إلى حـزمة مـن الأشعة) (Beam). حزمة الأشعة للأيونات الموجبة يتم توجـيهها إلى مجـال مغناطيـسى ينـتج بأقطـاب مغناطـيس كهربـى داخل أنبوبة مفرغة. المجـال المغناطيـسى يجبر الأيونات على رسم مسارات منحنية. الأيون ذو الكتلة الأصغر يـتم انحـناءه أكثـر من الأيون ذو الكتلة الأكبر بفعل المجال المغناطيسى. لذلك فإن هذين

النوعين من الأيونات ترسم مسارات منحيين مختلفين وبذا يحدث انفصالهما. الأيونات يمكن جمعها منفصلة ومستقلة عند نهاية المسار الشبه دائرى شكل (٢/ ٤).



شكل (٢/٤) الطريقة الكهرومغناطيسية لفصل النظائر

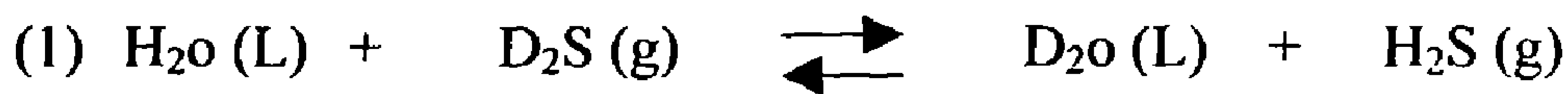
الجهاز المستخدم لفصل الأيونات الموجبة ذات كتل مختلفة بهذه الطريقة يسمى مقياس الكتلة الطيفى (Mass Spectromter). أجهزة قياس الكتلة الطيفى هذه ذات كفاءة عالية ومطورة والتى يمكنها فصل نظيرين مختلفى الكتلة حتى 0.001 وحدة كتلة، وهذه الأجهزة متاحة. هذه الطريقة لها معامل فصل عالى.

هـ - طريقة التبادل الكيميائى:

هذه الطريقة لإخصاب (Enriching) النظير مبنية على حقيقة أن النظائر لعنصر ليس لها نشاطات متماثلة. هذا الاختلاف فى السلوك الكيميائى يرجع إلى الاختلاف فى كتلتهم، هذا التأثير يسمى تأثير النظير (Isotope Effect). هذا التأثير يسود فى العناصر الأخف حيث أن نظائر العناصر الخفيفة تختلف بشكل كبير فى كتلتها.

فى طريقة التبادل الكيميائى، يتم حدوث تفاعل اتزان الذى يشمل اثنين من نظائر العنصر النظيرين يوزعوا أنفسهم بدون تساوى بين أنواع الاتزان (Equilibrium

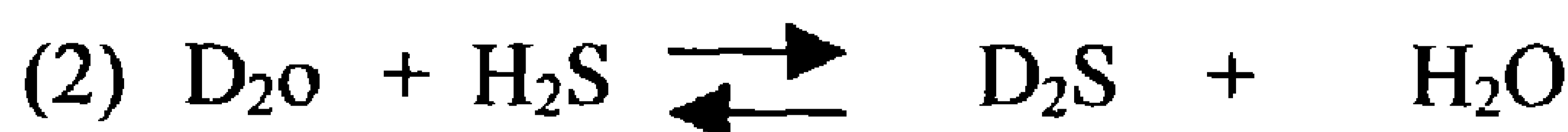
Species) بسبب اختلافهم فى النشاط الكيميائى. فمثلاً، عندما يكون H_2O (L) وD_2S (g) مخلوطين معا، تحدث حالة اتزان



$$(1)\quad H_2O\,(L) + D_2S\,(g) \rightleftharpoons D_2O\,(L) + H_2S\,(g)$$

الديتريوم يميل إلى التركيز فى D_2O (I).

العينة العادية لكبريتيد الهيدروجين تحتوى على كمية صغيرة منD_2S . لذلك، أولا عند تفاعل هذا الغاز معH_2O (I) عند $25\ ^0C$، فإنه يتكون D_2O (I) لذلك، فى هذه الخطوة يحدث تخصيب للماء. كمية H_2O (I) تقل وتلك لـ D_2O (I) تزداد بسبب أن الاتزان يميل قليلا ناحية اليمين. جزء من الماء الذى تم تخصيبه (Enriched) بتفاعل الآن معH_2S عند $100\ ^0C$. عند درجة الحرارة هذه يميل الاتزان ليكون نحو اليمين.



$$(2)\quad D_2O + H_2S \rightleftharpoons D_2S + H_2O$$

D_2S الذى ينتج يستخدم مرة أخرى لإخصاب الماء عند 25^0c،معادلة رقم (١). كبريتيد الهيدروجين يعمل كحامل للديتيريوم فهو يعطى ذراته D إلى الماء عند 25^0c ويستعيدها عند 100^0c. تكرار تلك العمليات ينتج عينتين من الماء أحدها مخصبة بـ D_2O والأخرى تفتقر لهذا النوع من النظير الثقيل.

هذه الطريقة لإخصاب الماء تسمى طريقة التبادل الحرارى — (الكيميائى المزدوج (Dual Temperature - Chemical Exchange Method). الماء المخصب الذى تم الحصول عليه بهذه الطريقة يتم عنده تقطيره جزئيا للحصول على إخصاب تالى. عينة الماء المخصب التالى يتم تحليلها كهربيا للحصول على D_2O 99.75%.

مثال:

عينة من غاز النيون مكونه من غازين، Ne - 20، Ne - 22. ما هو معامل الفصل لهذا الخليط فى عملية الدفق الغازى؟ قارن هذه مع فصل خليط $H_2 - D_2$ بنفس الطريقة.

الحل:

معامل الفصل (S) يعطى بالمعادلة.

$$S = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{\frac{22}{20}} = 1.05$$

بالنسبة لخليط $H_2 - D_2$ معامل الفصل هو 1.4، والذى هو أعلا كثيرا عن ذلك لنظائر النيون. هذا لأن Ne - 20، Ne - 22. يختلفا فى كتلتهم بنسبة صغيرة 1.1 = 20 / 22، بينما H_2، D_2 يختلفا فى كتلتهم بنسبة. كبيرة (2 = 2/ 4). لذلك فإن فصل خليط النيون فى مرحلة واحدة يجب أن يكون أقل كفاءة عن ذلك لخليط الهيدروجين.

٤- الأيزوبارز: (Isobars)

الأيـزوبارز هـى النويات ذات نفس العدد الكتلى (Mass Number) — (A). فمثلاً، $^{10}_{4}Be$ ، $^{10}_{5}B$ ، $^{10}_{6}C$ هـم أيزوبارز. الأيزوبارز هى نويات لعناصر مختلفة ذلك لأنـها تحـتوى علـى أعـداد مخـتلفة مـن البروتونات. وزنـها الذرى يختلف قليلا كما هو موضح بالجدول: -

جدول الأيزوبارز

النوية	عدد البروتونات (Z)	عدد النيوترونات	الرقم الكتلى (A)	الوزن الذرى
$^{32}_{14}S$	14	18	32	-
$^{32}_{15}P$	15	17	32	31.98409
$^{32}_{16}S$	16	16	32	31.98226
$^{32}_{17}CL$	17	15	32	-

الأيزوتونز (Isotones)

الأيزوتونـز هـى نـويات ذات نفـس العـدد مـن النيوتـرونات ولكـن أعداد البروتونات مخـتلفة والعـدد الكتلـى (A) مخـتلف. بخـلاف نفس العدد للنيوترونات، لا يوجد شئ آخر مشترك بين الأيزوتونز. فهى تمثل عناصر مختلفة كما فى الجدول التال:

جدول الأيزوتونز

النوية	عدد البروتونات (Z)	عدد النيوترونات	الرقم الكتلى (A)
$^{13}_{6}C$	6	7	١٣
$^{14}_{7}N$	7	7	14
$^{15}_{8}O$	8	7	15

الفصل الخامس

الكشف عن الإشعاع وقياس الإشعاع

Detection And Measurement Of Radiation

١ - الكشف عن الإشعاع:

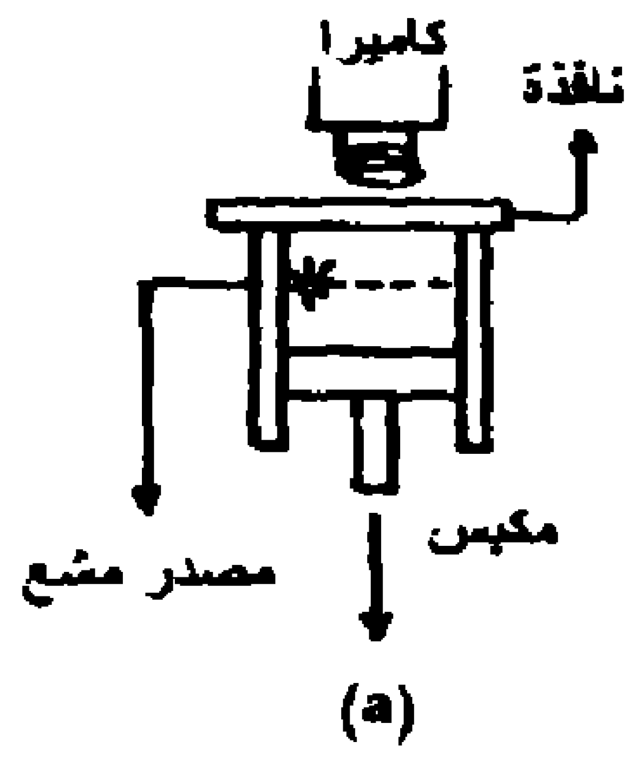
الإشعاع يتفاعل مع المادة، هذا هو الأساس فى الكشف وكذلك لقياس كثافة الإشعاع.

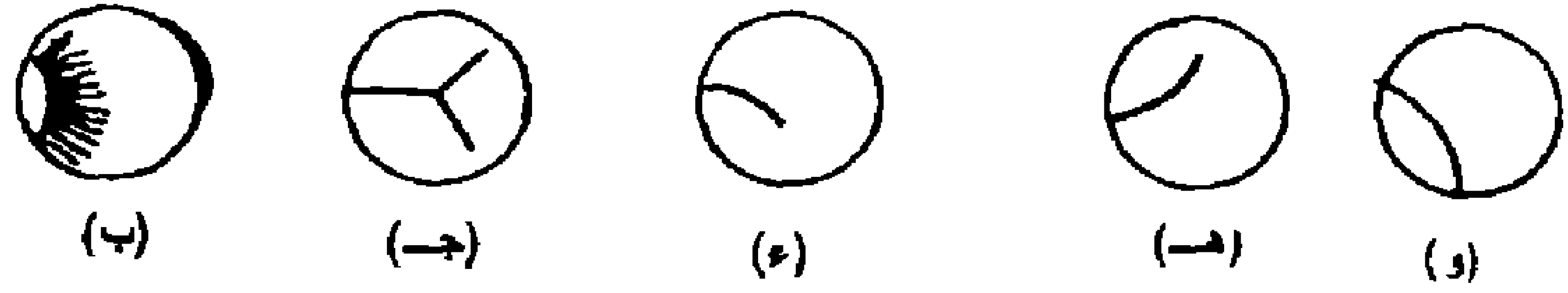
أ - الكشف باللوح الفوتوغرافى:

إشعاعات α، β تؤثر على مادة الردغة الفوتوغرافية (Photo Emulsion) وكذلك تفعل أشعة إكس. هذه هى أبسط طريقة للكشف عن الإشعاع. هذه الطريقة استخدمها هنرى بريكويل فى اكتشافه للنشاط الإشعاعى. هذه الطريقة الغير مكلفة لقياس الإشعاع بالأفلام الفوتوغرافية تستخدم فى معامل العلوم النووية لرصد الإشعاع الذى يستقبله العاملون. كل عامل يرتدى فيلم كعلامة ودليل فى قميصه. هذا الفيلم يتم تحميضه من آن إلى آخر لتقدير كمية الإشعاع التى استقبلها الشخص. فى حالة استقبال العامل أكثر من الحد الآمن أثناء فترة معينة فإنه يتم إبعاده من مكان العمل لبعض الوقت.

ب - غرفة سحابة ولسون: (Wilson Cloud Chamber):

عند مرور إشعاع مؤين خلال بخار فى حالة فوق التشبع ، فإنه تتكون نقاط سائل من البخار. إشعاع التأين ينتج أيونات فى البخار. تلك الأيونات عندئذ تعمل كنويات لتكوين السائل. نقاط السائل تنتج فى شكل مسار سحاب شكل (٥/١). مسار إشعاع التأين فى البخار يكون ممكن رؤيته بمسار السحاب. أشعات الفا تنتج مسارات كثيفة، مستقيمة، قصيرة. أشعات بيتا تنتج مسارات طويلة رقيقة. فى وجود مجال مغناطيسى هذين المسارين ينحنيا فى اتجاهات معاكسة. لذلك فإن طبيعة الإشعاع سواء كان α أو β يمكن كذلك تعيينه باستخدام غرفة السحاب، مسارات غرفة السحاب يمكن تصويرها.





(ب) مسارات الجسيمات
(جـ) تغير المسار بسبب تصادم الجسيمات
(ء) انحراف مسار ألفا فى المجال المغناطيسى
(هـ) انحراف مسار بيتا فى المجار المغناطيسى(B)
(و) انحراف مسار $\bar{B}$ فى المجال المغناطيسى

شكل (٥/١) غرفة السحاب لويلسون أ

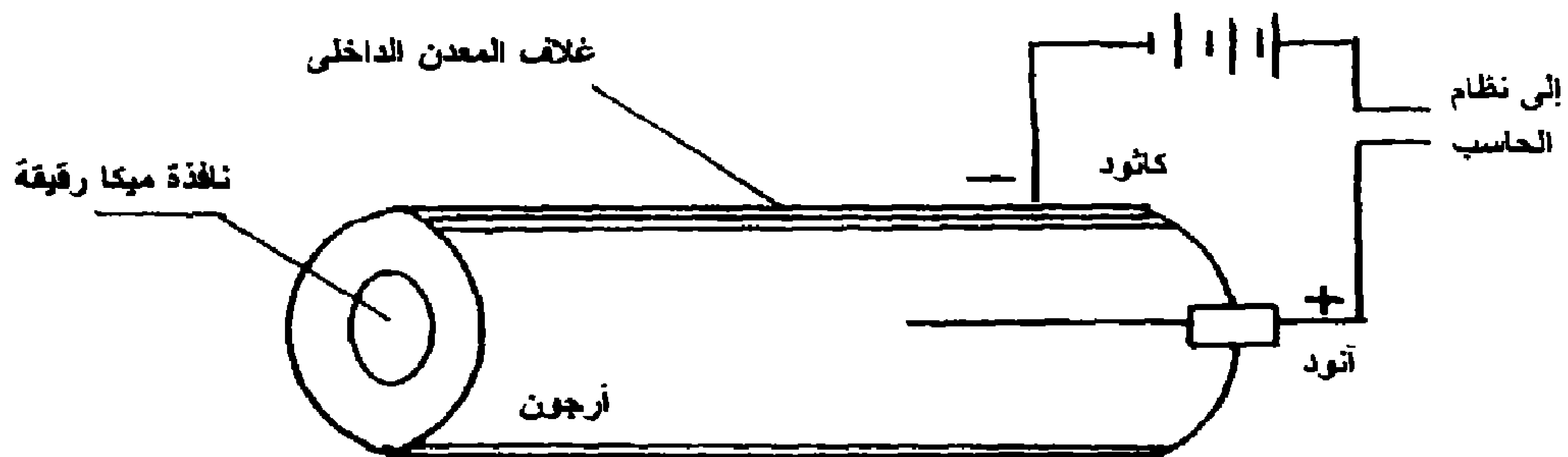
جـ - غرفة الفقاعة (Bubble Chamber):

هذه التجهيزة هى تطوير لغرفة السحاب. فى غرفة الفقاعة، يتم المحافظة على سائل الهيدروجين عند درجة حرارة غليانه تماما. عند مرور إشعاع مؤين خلاله، تنتج أيونات. تلك الأيونات تعمل على تكوين فقاعات فى السائل. تلك الفقاعات تتكون كمسار الذى يمكن تصويره وتحليله.

٢ – قياس الإشعاع: (Measurement Of Radiation):

أ – عداد جيجر – مولر: (Geiger - Muller Counter)

هذا الجهاز إخترعه العالمان الألمانيان جيجر ومولر. وهو يتكون من أسطوانة معدنية ذات نافذة دقيقة من الميكا عند أحد الأحباب شكل (٢ / ٥). هذه تحتوى على غاز (عادة الأرجون) عند ضغط منخفض.



شكل (٥/٢) عداد جيجر - مولار

الأنبوب نفسه يعمل كاثود لدائرة كهربية. سلك مثبت على طول محور الأنبوب يعمل آنود. الدائرة الكهربية ليست كاملة ذلك لأن الغاز لا يوصل التيار. عند عمل الإشعاع

لمرور خلال تلك الأنبوبة، خلال النافذة من الميكا فإنه يسبب تأين للغاز. الأيونات عندئذ تنجذب نحو السلك المركزى فى الأنبوب. السلك المركزى والأسطوانة الخارجية تتم المحافظة عليهما عند فرق جهد عالى، الذى يسبب حركة للأيونات المتكونة فى الغاز. هذه الأيونات المتحركة تصدم بجزئيات الغاز الكثيرة وتنتج كميات كبيرة من الأيونات. هذا يؤدى إلى انفجار (نبضات) للتيار الكهربى حيث الدائرة تكون مكتملة فى الأنبوب. بمقارنة تلك الأعداد مع الأعداد باستخدام مصدر إشعاع قياسى معروف تحت نفس الظروف، فإنه يمكن قياس الإشعاع من مصدر الاختبار.

ب – عداد الوميض: (Scintillation Counter)

يتكون عداد الوميض من بللورات من أيوديد الصوديوم (NaI) المخلوط مع آثار من مادة (Thallium Anthracene) هذا الخليط ينتج وميض (ومضات ضوئية) عند سقوط إشعاع مؤين عليه. هذا الوميض يتم عندئذ قياسه بجهاز إليكتروني لتعيين كمية الإشعاع.

٣ – وحدات الإشعاع النووى: Units Of Nuclear Radiations

الإشعاعات النووية يتم قياسها بنوعين من الوحدات.

أ – النوع الأول:

النوع الأول من الوحدات هو كورى (Ci - Curie) لوصف كثافة مصدر الإشعاع. واحد كورى هو كمية المادة المشعة التى تنتج 3.7×10^{10} تحللات (Disintigrations) فى الثانية. لذلك فإن وزن واحد كورى لـ (Iu - 238) يختلف عن وزن واحد كورى لـ K - 40.

قيمة التحللات فى الثانية (dps) 3.7 x 1010 تم اختيارها كمقياس معايرة على أساس حقيقة أن واحد جرام من الراديوم ينتج 3.7 x 1010 إشعاعات فى الثانية.

وحدات (SI) للإشعاع هى البيكريل (Bq - Becquerel) ويعرف بأنه كمية النظير الذى يعطى تحلل واحد فى الثانية

$$I\ ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$$

$$I\ Bq = 27 \times 10^{-12}\ ci$$

ب – النوع الثانى:

النوع الثانى لوحدة يرسم قياس امتصاص الإشعاع بالأنسجة او الهواء. مثل هذه الوحدة تعطى جرعة الإشعاع المستقبلية. تستخدم ثلاث وحدات من جرعة الإشعاع وهى الرونتجن، الرم، الراد.

أ – **الرونتجن (Rontegen)**

الرونتجن هو كمية الإشعاع جاما أو إشعاع إكس اللازم لإنتاج أيونات حاملة لوحدة اليكتروستاتيكية واحدة من الشحنة في سنتيمتر مكعب من الهواء الجاف عند الضغط ودرجة الحرارة القياسي. هذه الوحدة تم تسميتها على شرف العالم الألماني رونتجن المكتشف لأشعة إكس.

ب – الراد: (Rad)

الراد هو: امتصاص مائة أرج من الطاقة لكل جرام من النسيج الماص.

جـ - الرم: Rem:

وحدة الرم تعرف بناتج الجرعة الممتصة بالراد والتأثير البيولوجي النسبي Relative Biological Effectiveness (RBE) للإشعاع القادم.

Rem = rads x RBE.

التأثير البيولوجي النسبي (RBE) يرمز إلى القدرة النسبية لمختلف أنواع الإشعاع لإحداث التأين. قيمة (RBE) التي تساوى واحد تم تعيينها لأشعة جاما. وهي كذلك واحد لأشعة إكس. وهي عشرة لأشعة جاما. لذلك فإن جرعة قيمتها واحد راد من أشعة جاما أو 0.1 راد من أشعة ألفا كل سيكون له قيمة واحد رم (Rem) ويكون له نفس التأثير على الأنسجة.

بالنسبة للنيوترونات فإن قيم (RBE) تتراوح من 2.5 إلى10.5 طبقا لسرعتها وطاقاتها

جسم الإنسان يستقبل حوالى 50 مليريم (Millirems) في العام من إشعاع أرضي (من القشرة الأرضية) وحوالى 50 مليريم من الأشعة الكونية (Cosmic). في أشعة إكس للصدر يستقبل المريض 100 - 200 مليريم. عند مشاهدة شخص للتليفزيون الملون لمدة ساعتين في اليوم، فإنه في العام يستقبل 4 مليريم من الإشعاع كما في الجدول الآتي. الشخص المقيم عند تخوم محطة طاقة نووية يستقبل حوالى 5 مليريم في العام. وهذا أقل كثيرا من التعرض الخلفي.

جدول البيانات البيولوجية للإنسان

مصدر الإشعاع	الإشعاع الذى يستقبله الإنسان بالمليريم
أرضي (U طبيعي، Th... الخ)	55 في العام
مصادر داخلية (خلال الغذاء)	25 في العام
أشعة كونية	40 في العام
أشعة إكس على الصدر	100 - 200 / لكل تعرض
مشاهدة التليفزيون	4 في العام
المفاعل النووي (القريب من المساكن).	1 - 5 في العام.

مسألة:

النظير K - 40 هو باعث لأشعة بيتا، وله نصف عمر = 1.2 x 109 سنة. ما هي كتلة K - 40 التي تقابل النشاط لواحد كوري؟.

الحل:

واحد كوري = 3.7 x 1010 (dps) تحللات في الثانية

معدل التحلل $\frac{-dn}{dt}$ = λ = نشاط العينة.

N = هو عدد النويات المشعة.

λ = يعبر عنها بمقلوب الثواني (S-1)

إذا تم التعبير عن النشاط بالتحللات في الثانية (dps)

T ½ بالثواني = (1.2 x 109y) ($\frac{\text{٣٦٥ يوم}}{\text{السنة}}$) $\frac{\text{٢٤ ساعة}}{\text{اليوم}}$

$\frac{\text{٦٠ دقيقة}}{\text{الساعة}}$ x $\frac{\text{٦٠ ثانية}}{\text{الدقيقة}}$ = 1016 x 3078432 ثانية

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{3.78432 \times 10^{16}} \times \text{S-1}$$

= 1.8312 x .10- 17 S-1

النشاط (Activity) = λ N

N = $\frac{\text{النشاط}}{\lambda}$

النشاط = I Ci = 3.7 x 1010 تحللات (dps)

$$\therefore N = \frac{3.7 \times 10^{10}}{1.8312 \times 10^{-17}} = \text{2.020 s x 1027 atoms}$$

واحد جزئ (Imole) من K - 40 يحتوى 6.022 x 1023 atoms.

عدد الجزئيات = لـ K - 40 اللازمة ليكون لها نشاط Ici

$$= \frac{\text{Atoms } 2.020 \text{ s} \times 10^{27}}{\text{Atoms mole}^{-1}\ 6.022 \times 10^{23}}$$

= 3.3553 x 103

واحد جزئ من $K - 40 = 39.976\ g$

$\therefore$ 3.3557×103 جزيء من $K - 40$

$= 39.976 \times 3.3553 \times 103$ جرام

$= 134131.5$جرام

لذلك 134131.5 جرام من $K - 40$ يكون له نشاط = Ici

مسألة ٢ :

عينة من $^{22}_{10}SR$ لها نشاط أصلى أمليكورى – احسب النشاط النوعى للعينة.

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$T\ 1/2$ لإسترنثيوم = 19.9 سنة

$$\therefore \lambda = \frac{0.693}{19.9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}$$

$$= \frac{0.693}{627566400} = 1.1 \times 10\text{-}9$$

النشاط الأصلى (الأولى) $A_o = 1.1 \times 10^{-9} \times N_o$

Ao = واحد ملى كورى = 3.7×10^7 (dps)

$\therefore$ $3.7 \times 10^7 = 1.10^{-9} \times N_o$

$$N_o = \frac{3.7 \times 10^7}{1.1 \times 10^{-9}} = 3.36 \times 10^{16} \text{ Atoms}$$

كتلة الإسترنثيوم $= \dfrac{(3.36 \times 10^{16} \text{ atoms}) (90.0g / \text{mole}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms / mole}}$

$= 5.0 \times 10^{-6}\ g$

النشاط النوعى = عدد التحللات في الثانية / كتلة المادة المشعة

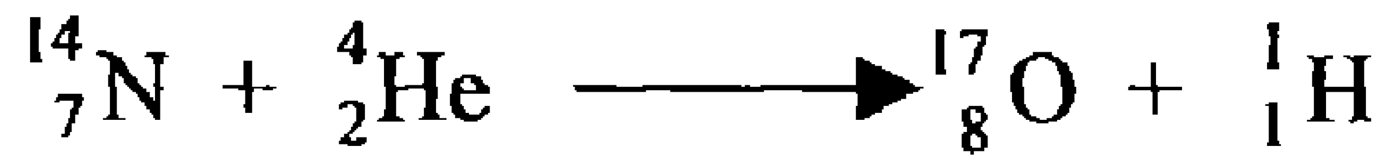
$$= \frac{3.7 \times 10^7}{5.0 \times 10^{-6}}$$

$= 7.4 \times 10^{12}$ تحللات في الثانية للجرام

الفصل السادس

التحولات النووية (Nuclear Transmutations)

لقد لاحظ رزرفورد انه عند توجيه جسيمات ألفا عاليه السرعة من Po - 214 نحو هدف نيتروجين، فإنه أنتج $^{17}_{8}O$ و $^{1}_{1}H$ لقد حدث تفاعل نووى صناعى بين $^{14}_{7}N$ و $^{4}_{2}He$ حيث

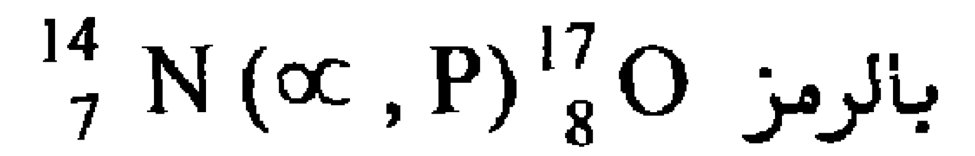


$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

النيترونات 7 + 2 = 8 + I

النيترونات 7 + 2 = 9 + صفر

هذا كان أول تفاعل نووى صناعى وهو يسمى التحول النووى ويرمز له بالرمز



$^{14}_{7}N\ (\alpha\ , P)\ ^{17}_{8}O$

(التحول النووى هو تحويل نواه الذرة إلى أخرى صناعيا).

١- تقنيات التحول:

النواة المطلوب تحويلها يتم قذفها بجسيم عالى السرعة. النواة التى تم قذفها تسمى الهدف (Target) والجسيم يسمى القذيفة (Projectile). الجسيم يتم إسراعه لتقويه دخوله والتفاعل مع نواه الهدف ومقاوما لتنافر كولومب (Coulomic Repulsion) (حاجز الجهد) بين الاثنين. التحول النووى يمكن عموما وصفه كالآتى:

نواه الهدف + المقذوف ⟵ نواه منتجه + جسيم + طاقة.

النواة المنتجة يمكن أن تكون مشعة. هذا النشاط الإشعاعى يسمى النشاط الإشعاعى الصناعى.

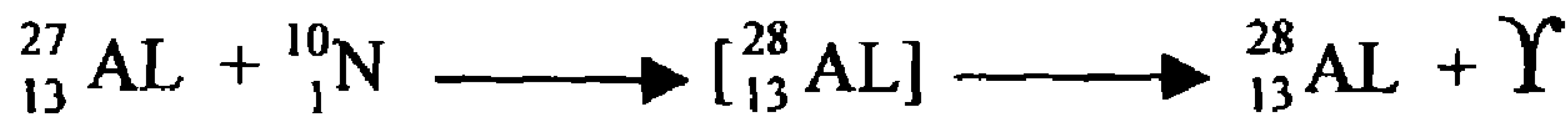
الإشعاعية لنظير منتج صناعيا هى إشعاعية صناعية أو إشعاعية حثية (InducedRadio activity)

آلية التحول: (Transmutation Mechanism)

آلية التفهم للتحول النووى اقترحت بواسطة (Nails Bohr). حيث اقترح أن نواه الهدف والمقذوف يتفاعلا ويكونا وسيط (Intermediate) الذى يسمى نواه مركبة (Compound Nuleus)

هـذا الوسـيط غـير مـستقر بدرجـة كـبيرة، وله نصف عمر من 10^{-14} إلى 10^{-12} ثانية. أثـناء هـذه الفترة فإن الطاقة التى أدخلت بواسطة المقذوف يتم توزيعها خلال النواة. هذا ينتج نواه " مستثاره – Excited" حيث يهرب منها نيوكلون أو مجموع من النيوكلونات من خلال اكتساب الطاقة (النيوكلون = بروتون أو نيوترون).

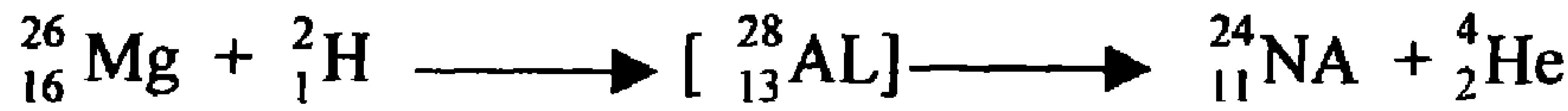
الجـسيم الـذى يهـرب مـن الـنواة المـركبة يجب أن يكتسب طاقة كافية للتغلب على رباطـه مـع الـنواة. هذا الهروب يترك بناء نووى أكثر استقرارا. عند ما تكون طاقة النواة المـركبة ليـست كافية لقذف (Ejection) جسيم، فإن النواة المركبة تبعث طاقة زائدة فى شكل إشعاع جاما.



$$^{27}_{13}AL + ^{10}_{1}N \longrightarrow [^{28}_{13}AL] \longrightarrow ^{28}_{13}AL + \Upsilon$$

نواه مكربة.

فـى هـذا المـثال، تستخدم النيوترونات الحرارية (النيوترونات ذات طاقة منخفضة)، الـنواة المـركبة لها طاقة إثارة. منخفضة كإشعاع وتكون نظير لنواه الهدف. عند استخدام قذيفة ذات طاقة عالية مثل $^{2}_{1}He$ ،لتكوين النواة المركبة $[^{28}_{13}AL]$، فإنها يمكن أن تبعث جسيم.



$$^{26}_{16}Mg + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{28}_{13}AL] \longrightarrow ^{24}_{11}NA + ^{4}_{2}He$$

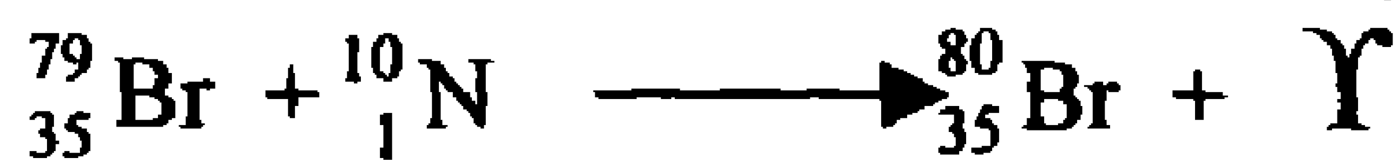
طـبقا لنظـرية جوهـر، فـإن طبـيعة تحلـل الـنواة المـركبة تـتوقف على طاقة المقذوف المستخدم، لا تعتمد على كيفية تكوين النواة المركبة.

١ - أنواع التحول النووى:

يمكن تقسيم التحولات النووية على أساس طبيعة التفاعلات.

أ – تفاعلات اقتناص المقذوف (projectile Capture Reactions)

فـى هـذا الـنوع مـن التحول اقتناص المقذوف بواسطة النواة الهدف يؤدى إلى انبعاث إشعاع جاما بدون مصاحبة أى جسيم.



$$^{79}_{35}Br + ^{10}_{1}N \longrightarrow ^{80}_{35}Br + \Upsilon$$

عمـوما، اقتـناص النيوتـرون يتـبعه انـبعاث جامـا. مثل هذا التفاعل يسمى الاقتناص المشع (Radioative Capture)، ذلك لأن اقتناص المقذوف ينتج إشعاع فقط.

ب – تفاعلات اقتناص المقذوف وانبعاث الجسيم :

Projectile - Capture Paticle - Emission Reactions

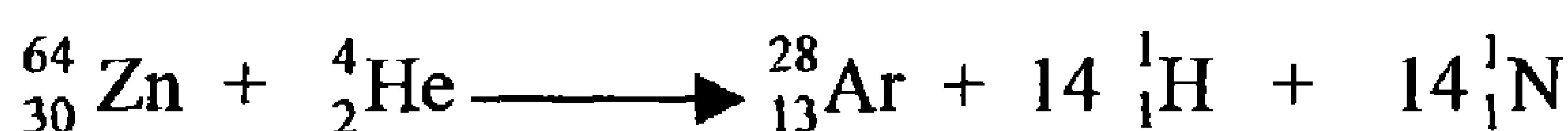
فـي هـذا الـنوع مـن الـتحول اقتـناص المقـذوف ينتج نواه مركبة التى عندئذ تكتسب استقرار بانبعاث واحد أو اثنين من الجسيمات.



$$^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{11}_{6}C \quad ^{4}_{2}He$$

جـ - تفاعلات التشظى : (Spallation Reachons)

كلمـة تشظى يعنى بها تفتيت. فى هذا التحول ، يقوم المقذوف بتفتت جزء من النواة الهدف.

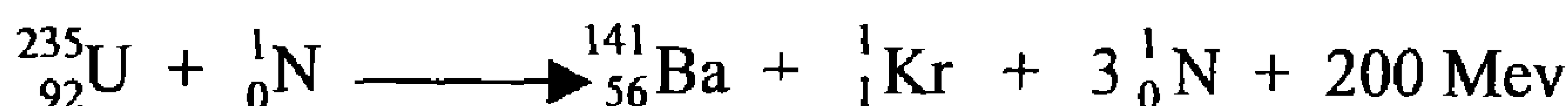


$$^{64}_{30}Zn + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{28}_{13}Ar + 14\ ^{1}_{1}H + 14\ ^{1}_{1}N$$

يلزم مقذوف عالى السرعة للتفتت. المنتج الرئيسى فى هذا التفاعل هو نواه ذات حجم أصغر من نواه الهدف نظرا لتفتت العديد من الجسيمات بعيدا عن نواه الهدف.

د- تفاعلات الانشطار : (Fission Reactions)

تفتـيت نـواه كـبير، إلى اثـنين أو أكثـر مـن النويات متوسطة الحجم يسمى الانشطار النووى.

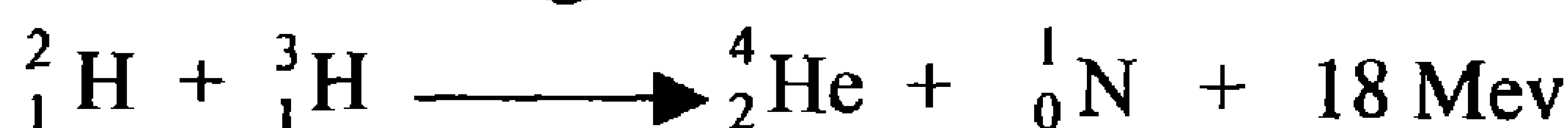


$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}N \longrightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{1}_{1}Kr + 3\ ^{1}_{0}N + 200\ Mev$$

النويات ذات A < 200 تميل إلى الانشطار عند قذفها بمقذوف.

٥ – تفاعلات الاندماج : (Fusion Reactions) :

تجميع نويتين صغيرتين لتكوين نواه أثقل مستقرة هو الاندماج النووى.



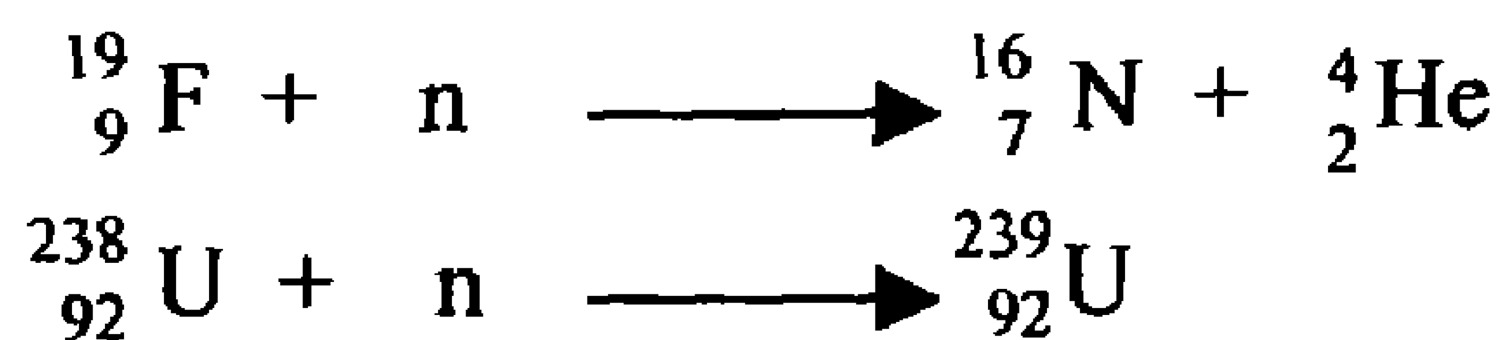
$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}N + 18\ Mev$$

كـلا مـن الانـشطار الـنووى والانـدماج الـنووى همـا منـتجين للطاقـة العالـية (Highly Exoergic)

٣ – طريقة أخرى لتصنيف التحول النووى طبقا لنوع المقذوفات المستخدمة :

أ – التحول النووى بواسطة النيوترونات :

النيوترون هو المقذوف الأكثر استخداما للتحولات النووية. فهو، لكونه ليس له شحنة لا يـشكل أى حاجـز كولومبـى للتفاعل مع نواه الهدف. فهو لذلك يكون المقذوف الأكثر تأثيرا.



$$^{19}_{9}F + n \longrightarrow ^{16}_{7}N + ^{4}_{2}He$$
$$^{238}_{92}U + n \longrightarrow ^{239}_{92}U$$

ب – التحول النووى بواسطة البروتونا :

القذيفة الحاملة لشحنة يحدث لها تنافر كولومبى عند اقترابها من نواه الهدف. هذا التنافر يكون بسبب لشحنات الموجبة للقذيفة ونواه الهدف. هذا التنافر يسمى حاجز الجهد (Potential Barrier) ويرمز له بالآتي:

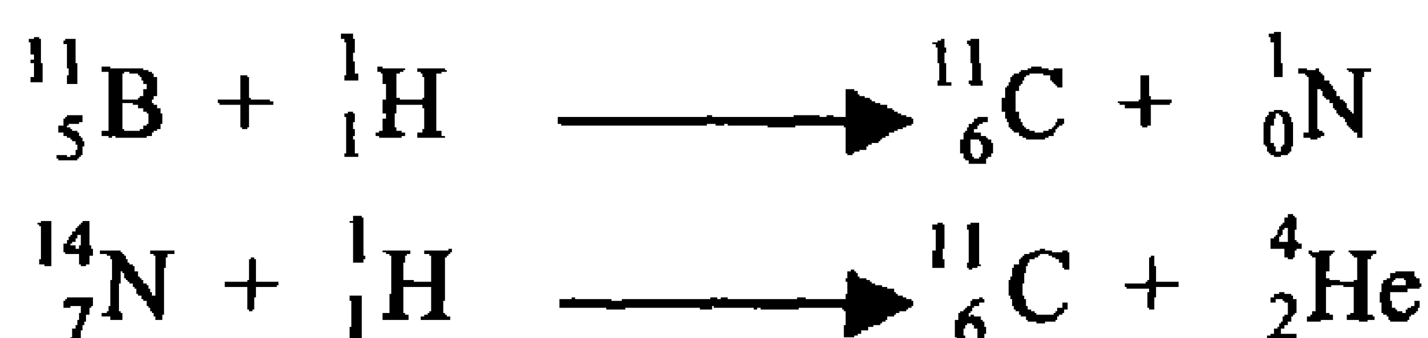
$$V = \frac{z^1 z^2 e^2}{r^1 + r^2}$$

حيث:

Z_1، Z_2 هما الشحنة على كل من نواه الهدف والمقذوف على التوالى، r_1، r_2 هما نصف أقطارهما.

e هي الشحنة الكهروإستاتيكية.

هذا التنافر يلزم التغلب عليه لحدوث التفاعل المؤثر بين القذيفة الحاملة للشحنة ونواة الهدف. هذا يتم بإسراع القذيفة. زيادة الطاقة الحركية للقذيفة تتغلب على التنافر البروتون السريع (Accelerated) يمكن بذلك أن يعمل كقذيفة للتحول.



$$^{11}_{5}B + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{11}_{6}C + ^{1}_{0}N$$
$$^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{11}_{6}C + ^{4}_{2}He$$

جـ - التحول بالديوترون (Transmutations By Deuterons)

الديوترون قذيفة مؤثرة للتحولات:

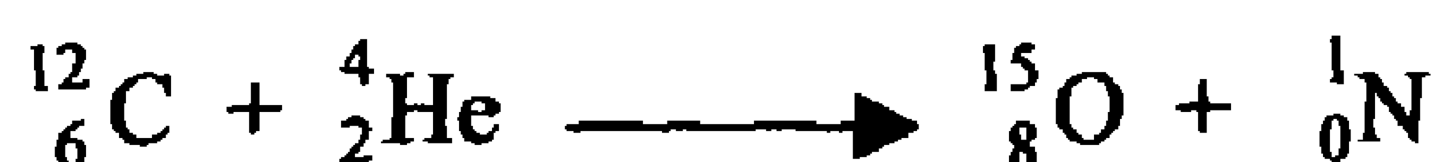


$$^{7}_{3}Li + ^{2}_{1}He \longrightarrow ^{8}_{3}Li + ^{1}_{1}H$$

من المفترض أنه ينقسم إلى البروتون والنيوترون عند الاقتراب من الهدف، عندئذ، يتم امتصاص النيوترون بواسطة الهدف ويتم تحرير البروتون.

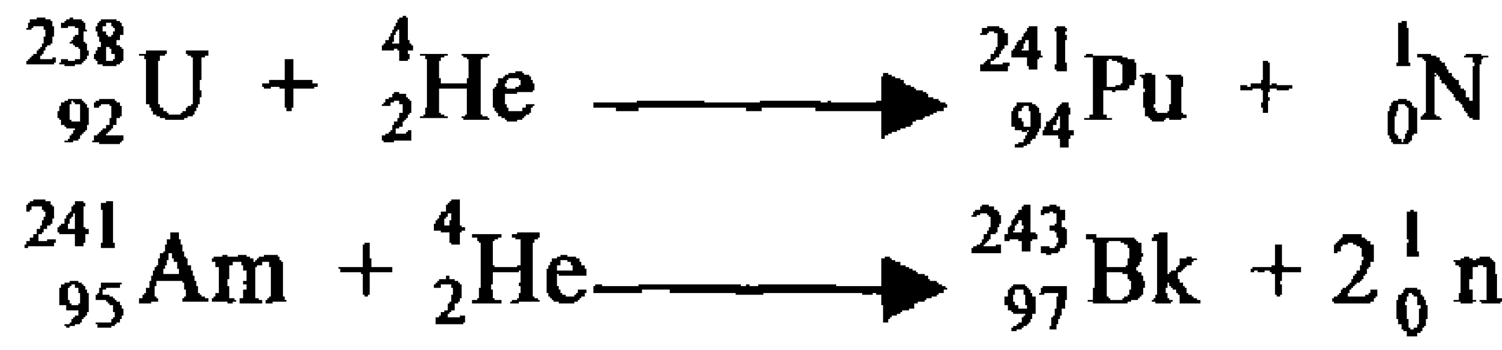
د – التحول بجسيمات ألفا : (Trans Mutations By Alpha Particles)

جسيم الفا، لكونه ذو شحنة مزدوجة، فإنه يشكل حاجز طاقة أكبر من البروتون عند الاقتراب من النواة الهدف. لذلك، فإنه يجب أن يكتسب طاقة حركية عالية لأحداث التحول



$$^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{15}_{8}O + ^{1}_{0}N$$

تخليق عناصر ذات عدد ذرى أكبر من العدد الذرى لليورانيوم، (Transuranic) تم تحقيقه بواسطة جسيمات ألفا عالية السرعة.



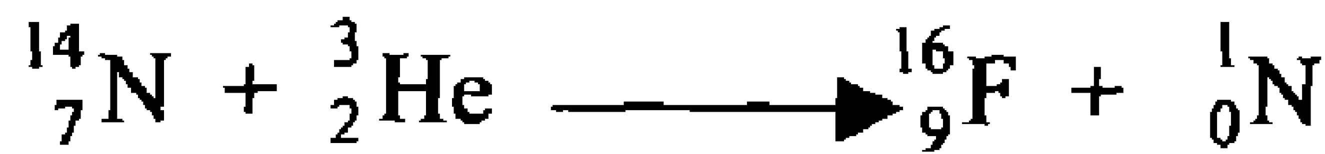
$$^{238}_{92}U + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{241}_{94}Pu + ^{1}_{0}N$$

$$^{241}_{95}Am + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{243}_{97}Bk + 2\,^{1}_{0}n$$

العمل الكبير فى مجال التحول للعناصر بمختلف المقذوفات الذى قادة (G.T. SeABORG) ورفاقه فى كاليفورنيا قد أدى إلى التفهم الأفضل لتخليق العناصر الثقيلة.

هـ - التحول بالأيونات الثقيلة: (TRANSMUTATION By Heavy Ions)

الأيونات الثقيلة مثل $^{3}_{1}H$ ، $^{4}_{2}He$ ..الخ ممكن كذلك أن تعمل لمقذوفات. ولكن إسراعها بما يكفى للتغلب على الحاجز الكولومبى يكون صعبا. مثال لمثل هذا التفاعل هو:



$$^{14}_{7}N + ^{3}_{2}He \longrightarrow ^{16}_{9}F + ^{1}_{0}N$$

و- التحول بالإشعاع:

الإشعاعات مثل إشعاعات جاما (Y)، وأشعة إكس (X) استخدمت كذلك لإحداث التحولات النووية.



$$^{9}_{4}Be + \Upsilon \longrightarrow ^{8}_{4}Be + ^{1}_{0}N$$

امتصاص طاقة الإشعاع يحدث اضطراب للنواه ويؤدى إلى انبعاث جسيم من النواة الهدف. مثل هذه التفاعلات تسمى التفاعلات النووية الضوئية (Photonuclear Reactions).

ز- تفاعل جسيم - جسيم: (Particle - Particle Reaction)

تفاعل جسيم - جسيم هو تحول نووى الذى فيه تقتنص النواة الهدف جسيم وينبعث منها جسيم آخر. التفاعلات الهامة جسيم - جسيم موضحة فى الجدول التالى: إشعاع جاما (Υ) للتبسيط اعتبر مع الجسيمات رغم إنه لا يتكون من أى جسيمات ولكن يتكون من كم ضوئى (Photons).

جدول تحولات جسيم - جسيم.

النوع	التغير في Z	N	A	مثال
	Z	N	A	
(n، p)	-1	+1	0	${}^{12}_{7}N\ (n,P)\ {}^{12}_{6}C$
(n, 2n)	0	-1	-1	${}^{12}_{6}C\ (n,2n)\ {}^{11}_{6}C$
(n، ϒ)	0	+1	+1	${}^{79}_{35}Br\ (n, \Upsilon)\ {}^{80}_{35}Br$
(n . ∝)	-2	-1	-3	${}^{6}_{3}Li\ (n,\propto)\ {}^{3}_{1}H$
(P, n)	+1	-1	0	${}^{33}_{11}Na\ (P,n)\ {}^{33}_{12}Mg$
(P, ϒ)	+1	0	+1	${}^{27}_{13}AL\ (P,\Upsilon)\ {}^{28}_{14}Si$
(P, d)	0	-1	-1	${}^{9}_{4}Be\ (P,d)\ {}^{8}_{4}Be$
(d, n)	+1	0	+1	${}^{6}_{3}Li\ (d,n)\ {}^{7}_{4}Be$
(b, d)	0	+1	+1	${}^{7}_{3}Li\ (d,p)\ {}^{8}_{3}Li$
(ϒ,n)	0	-1	-1	${}^{9}_{4}Be\ (\Upsilon,n)\ {}^{8}_{4}Be$
(∝, p)	+1	+2	+3	${}^{14}_{7}N\ (\propto,P)\ {}^{17}_{8}O$
(∝, n)	+2	+1	+3	${}^{27}_{13}AL\ (\propto, n)\ {}^{30}_{15}P$

٤- فعالية الطاقة للتفاعل النووى: (Energetics Of Nuclear Reaction)

التفاعلات النووية مثل التفاعلات الكيميائية، تشمل تغيرات فى الطاقة. ولكن تلك التغيرات فى التفاعلات النووية أكبر كثيرا فى مقدارها عن تلك فى التفاعلات الكيمائية. أحيانا، فى التفاعلات النووية، كما فى حالة الانشطار تنطلق كميات ضخمة من الطاقة. هذه الطاقة الضخمة المنطلقة هى نتيجة تحول المادة إلى طاقة. هذا التحول للمادة إلى طاقة (Energy Conversion—Mass) يتم تفهمه طبقا لمعادلة أينشتاين.

$$E = mc^2$$

حيث m = الكتلة. C = سرعة الضوء.

فى انشطار U - 235، حوالى 0.1% من الكتلة المستخدمة يتحول إلى طاقة.

مجموع الكتل لـ U-235 وقذيفة النيوترون.

$$236u = 1 + 235 =$$

0.1% من الكتل المستخدمة فى الانشطار.

$$0.236U = \frac{U236 \times 0.1}{100} =$$

$$1.6604 \times 10^{-24}g = 1U$$

$$1.6604 \times 10^{-24} \times 0.236 = 0.236U \quad \therefore$$

$$= \frac{1.6604 \times 10^{-24} \times 0.236}{1000} \text{ جرام}$$

$$= 3.9185 \times 10^{-28} \text{ كجرام}$$

$$E = mc^2$$

$$= (3.9185 \times 10^{-28})\ Kg \times (3.00 \times 16^{8}\ ms^{-1})^2$$

$$= 3.527 \times 10^{-11}\ Joules\ (J)$$

بفرض أن القنبلة الذرية تحتوى على واحد كيلو جرام من الوقود الانشطاري U235، عندئذ فإن كمية الطاقة التى سوف تنطلق عند الانفجار لهذه القنبلة.

$$= \frac{1000 \times 3.527 \times 10^{-11}\ J\ /\ atom \times 6.022 \times 10^{23}}{253}$$

$$= 9.04 \times 10^{13}\ J$$

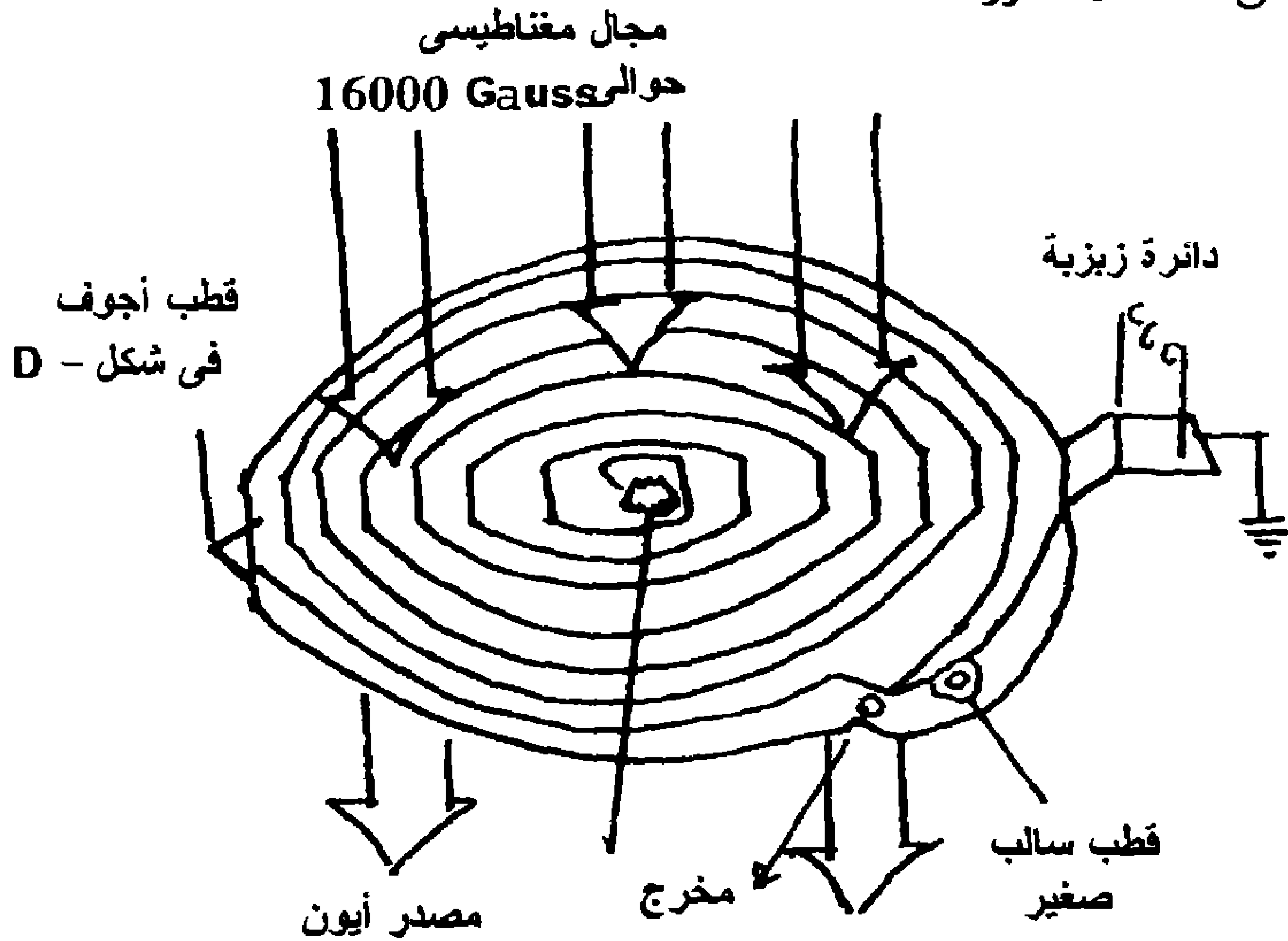
هذه الطاقة الضخمة تنطلق من القنبلة بطريقة تدميريه.

٥ – إسراع الجسيم الحامل للشحنة (Particle Acceleration–Charged)

الجسيمات الفعالة والنشيطة (Energetic Particles) تكون مطلوبة لإحداث التحولات النووية.. مثل هذه الجسيمات النشيطة يتم الحصول عليها فى المسرع (المعجل) (Accelerator) . المسرع هو تجهيزه التى تمكن من إكساب طاقة مركبة عالية للجسيم، خاصة تلك الحاملة للشحنة والتى تستخدم كقذيفة فى التفاعلات النووية.

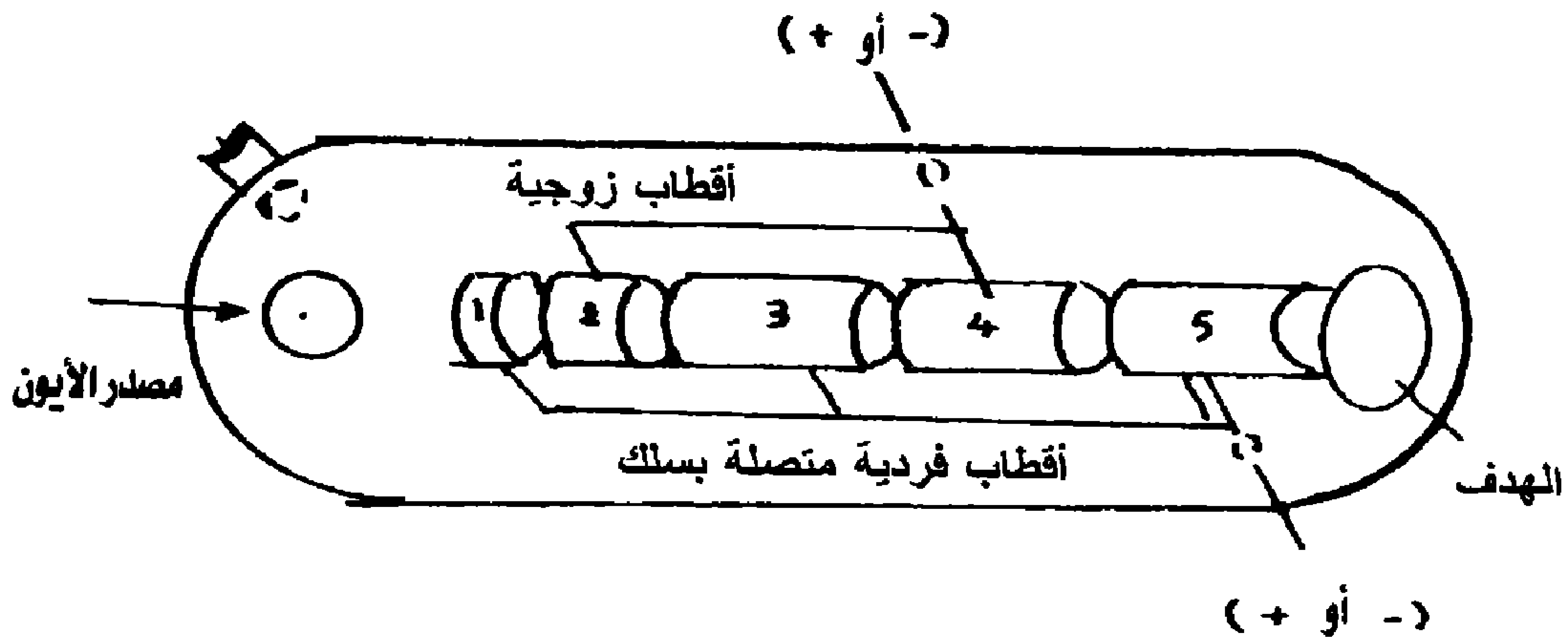
المسرع الحلقى (المدارى) (Cylotron)

المسرع الـذى يسمى السيكلوترون شكل (٦/١) يتكون من صندوقين أجوفين مسطحين وقليلـى ضـغط الهـواء (Flat). فـى شـكل شـبة اسطواني. تلك الصناديق تسمى اثنين D (The 2 Dees). (الديـز يعنـى مـسربين مجـوفين فـى شـكل نـصف اسطوانى لتـسريع الجـسيمات فـى الـسيكلوترون). كـلا الديـزين يتم شحنهم كهربيا، واحد موجب والآخر سـالب. يتم استمرارهم خلال مجال مغناطيسي. الجسيمات اللازم استخدامها كمقذوفات يـتم تكويـنها فـى مركـز الفاصـل بين الديزين: تلك الأيونات الموجبة يتم انجذابها نحو المـدى سـالب الـشحنة. المجـال المغناطيـسي يدفـع تلـك الجـسيمات للتحـرك فى مسار دائـرى. بعـد المـسار الشبة دائرى فإن الأيونات سوف تدخل الفاصل بين الديز (dees)، فى هذه اللحظة. يحدث انعكاس للشحنة الكهربية على الديز حيث الجسيمات تنجذب إلى الديـز المعاكس. الجسيمات يحدث لها إسراع عند مرورها الفاصل. فهى تتحرك على مسار دائـرى أوسـع فـى المـدى الجديـد. هذه العملية يتم تكرارها عدة مرات بحيث إن الجـسيمات تـسير فـى ممـرات دائـرية أكـبر وأكـبر عند كل مرحلة، تكتسب طاقة أكبر وأكـبر. عـند الوصول إلى طرف الديز يكون لها سرعة عالية جدا وتوجه نحو نواه الهدف للحصول على التفاعل النووى.



شكل (٦/١) السيكلوترون

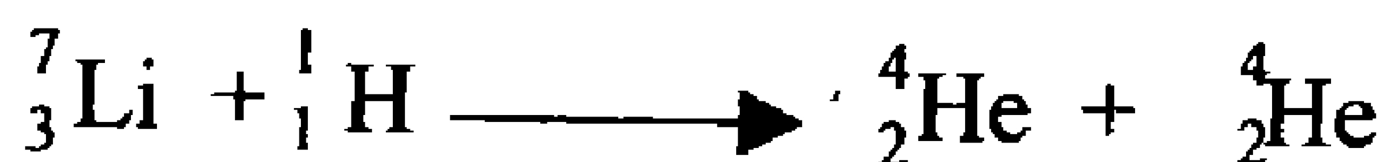
أول مسرع للجسيمات المسمى المسرع الطولى شكل (٢) ثم بناؤه عام ١٩٢٨ بواسطة العالم الألمانى (Rolf Wideroe). هذا المسرع يتكون من عدد من الأقطاب الأسطوانية ذات الزيادة فى الطول، أقطاب تبادلية تم توصيلهم معا. عند تحرك الأيونات الموجبة خلال لأنابيب المنظمة طوليا فإنه يتم إسراعها بعكس جهود الأنبوب.



شكل (٢/٦) المعجل الطولى

مسألة:

بالنسبة للتفاعل



$${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He$$

الفقد فى الكتلة هو 3.09×10^{-29} g مع إفتراض أن تلك الكتلة تقابل اكتساب طاقات حركية لعدد اثنين من جسيمات ألفا، احسب إجمالي الطاقة الحركية (بـ Mev) لكلا جسيمات ألفا.

الحل:

طبقا لمعادلة أينشتين

$$E = mc^2$$

$$= (3.09 \times 10^{-29}\ Kg)\ (3.00 \times 10^{8}\ ms^{-1})^2$$

$$= 27.8 \times 10^{-13}\ Kg.\ m^2\ S^{-2}$$

$$= 27.8 \times 10^{-13}\ Joule$$

$$1ev = 1.6022 \times 10^{-19}\ Joule$$

$$\therefore \quad 27.8 \times 10^{-13}\ Joule$$

$$= \frac{2.78 \times 10^{-13}}{1.6022 \times 10^{-19}}\ ev = 17.4 \times 10^{6}\ ev$$

$$= 17.4\ Mev$$

مثال:

احسب طول الموجه لفناء (Annihilation) الإشعاع الناتج بواسطة التفاعل الإتلافي ليوزيترون وإليكترون.

كتلة B^+ = كتلة B^- = $0.00055U$

الحل:

يتفاعل البوزيترون والإليكترون لإنتاج إشعاع جاما. فى هذه العملية يتم تدمير الكتلة الكلية.



الكتلة المدمرة = $2 \times 0.00055\ u = 0.0011\ u$

$$E = mc^2$$

طاقة إشعاع جاما Y = $\frac{0.0011 \times 931.2}{2}$ Mev

$$= 0.512\ \text{Mev}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

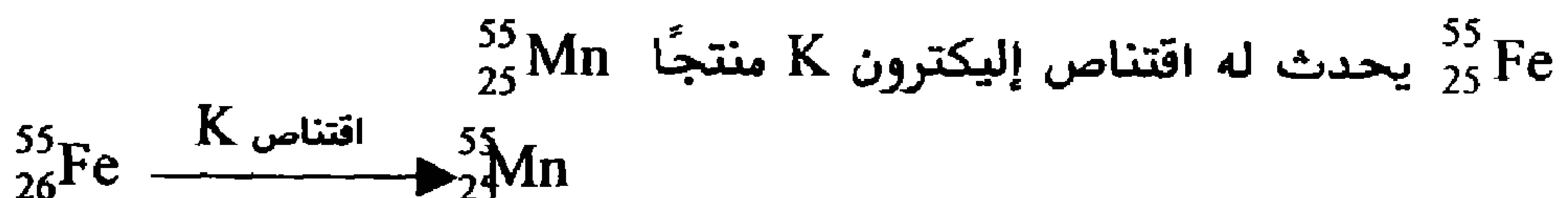
$$\lambda = \frac{hc}{E} = 0.024\ \text{A}$$

٦- اقتناص الإليكترون (Electron Capture - Ec)

فى اقتناص الإليكترون (EC) والذى هو نوع من التفاعل النووى، تقتنص نواة الذرة المشعة الإليكترون الزائد عن النواة (المدارى). الإليكترون الذى تم اقتناصه يتحد معه بروتون فى النواة ويكون نيوترون.

إليكترون + بروتون ← نيوترون + نيوترينو.

أحد اليكترونات المدار (الغلاف) K، التى تكون أقرب إلى النواة عادة يتم اقتناصها، عندئذ هذا التفاعل النووى يسمى اقتناص إليكترون K. فمثلاً:



المنـتج له بروتون واحد أقل ونيوترون واحد زيادة عن نواه التفاعل. لا يوجد تغير فى العـدد الكتلى (Mass Number) فى هذه العملية. لذلك، فإن اقتناص إليكترون K يزيد نـسبة p/n وبالتالى يساعد على الاستقرار النووى. نسبة P: n لـ $^{55}_{26}Fe$ هى 1.12 ولكن بالنـسبة لـ $^{55}_{25}Mn$ تكـون النـسبة 1.20 . لـذلك فإن اقتناص K هو شكل للتحلل الذى يزيد نسبة p : n للنواة، هذه هى البديل لانبعاث البوزيترون لزيادة نسبة p : n.

اقتـناص الإلـيكترون K يخلـق فـراغ فـى المـدار K للـذرة. مثل هذا الوضع يكون غير مرغوبا طبقا لمبدأ (AuFbau) للتنظيم الإليكترونى. لذلك، فإن الإليكترون L سوف يسقط نحـو الغـلاف K (المدار K). هذا الانفعال الإليكترونى يبعث إشعاعات فى منطقة أشعة إكـس. هـذا الانـتقال يتبعه عدد كافى من الانتقالات من المستويات الأعلى إلى المستويات الأدنى بحيث لا يكون هناك فراغات فى أغلفة النواة الداخلية.

لـذلك، فإن اقتناص K يتبعه انبعاث أشعة إكس، خاصية العنصر المنتج. اقتناص K يمكن كشفه ودراسته بتسجيل طيف أشعة إكس للعنصر المنتج.

اقتـناص الإلـيكترون K لـيس مـثل الأشـكال الأخـرى للـتحلل، حيث يتأثر بالحالة الكيميائية للذرة المشعة. يمكن تبرير هذا لأن هذا التحلل.يشمل إليكترون زائد عن النواة، والـذى بـدوره يتأثـر بالحالة الكيميائية للذرة. لذلك، يكون من الممكن اختلاف قليل فى نـصف العمـر لاقتناص النواة للإليكترون K عندما نكون الذرات ذات العلاقة فى حالات كيميائـية مخـتلفة (حـالات أكـسدة). فمثلاً، نصف العمرلـ 7- Be أكبر بنسبة 0.023% عندما يكون فى حالة العنصر عنه كما لو كان فى حالة الأكسيد.

هـذا الـشكل من التحلل يكون نادرا بين العناصر المشعة الطبيعية إنه من العادى جدا بـين العناصـر المـشعة المخلقـة. فمثلاً النظير المخلق $^{37}_{18}Ar$ يحدث له اقتناص إليكترون ويكون $^{37}_{17}CL$



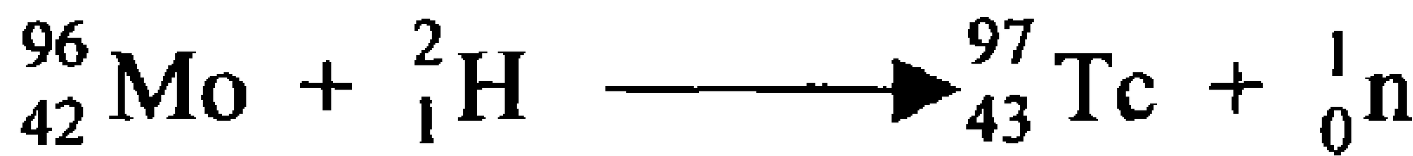
$$^{37}_{18}Ar + ^{0}_{-1}e \longrightarrow ^{37}_{17}CL$$

الفصل السابع

تخليق العناصر : (Syn thesis of Elements)

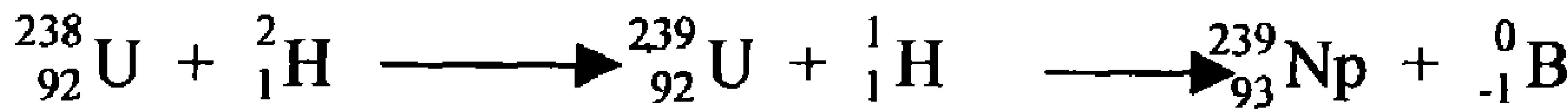
لقد كان حلم الكيمائيين هو تحويل معادن الأساس مثل الرصاص والحديد إلى الذهب. هـذا الحلـم تم التخلـى عـنه بعـد قـبول نظرية دالتون بخصوص عدم التلف والفناء للذرة (Indestructible atom). ولكن تحويل عنصر إلى آخر صناعيا أصبح حقيقة بعد اختراع المسرع المدارى الحلقى (Cyclotron). يستخدم السيكلوترون او تجـهيز آخر مشابه لإنتاج جـسيمات ذات طاقـة عالـية. تلك الجسيمات عند تصادمها بنويات الغرض الثقيلة تنتج نويات أكثر ثقلا.

كـان أول عنـصر تم إنـتاجه صـناعيا هـو عنـصر (Technicium) والذى تكّون بقذف الموليدينوم (Mo) بالديتيريوم



$$^{96}_{42}Mo + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{97}_{43}Tc + ^{1}_{0}n$$

عـند تـصادم $^{238}_{92}U$ مـع الديتريـوم، يـتكون العنـصر $^{238}_{93}Np$ تكـونNp يحدث خلال تكون $^{239}_{92}U$



$$^{238}_{92}U + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{239}_{92}U + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}B$$

$T½ = 2.3$ day

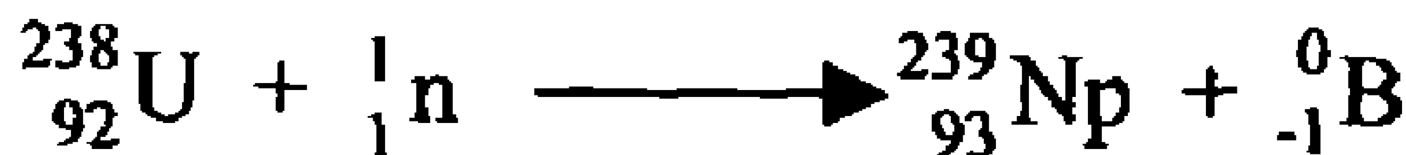
Np لا يوجد فى الطبيعة فهو عنصر مخلّق.

١- العناصر ما بعد اليوارنيوم: (Transuranic Elements)

العناصـر المخلقة ذات أرقام ذرية أعلا من تلك لليورانيوم ($Z = 92$) تسمى العناصر ما بعـد اليورانـيوم. وهذه تشكل جزء من سلسلة الأكتيلنات (Actinide Series) والتى هى العناصر التى يزيد عدد الذرى عن 88 من بين عناصر التربة النادرة (Rare Eqrths)

أ- نبتونيوم: (Neptunium) ($Z = 93$)

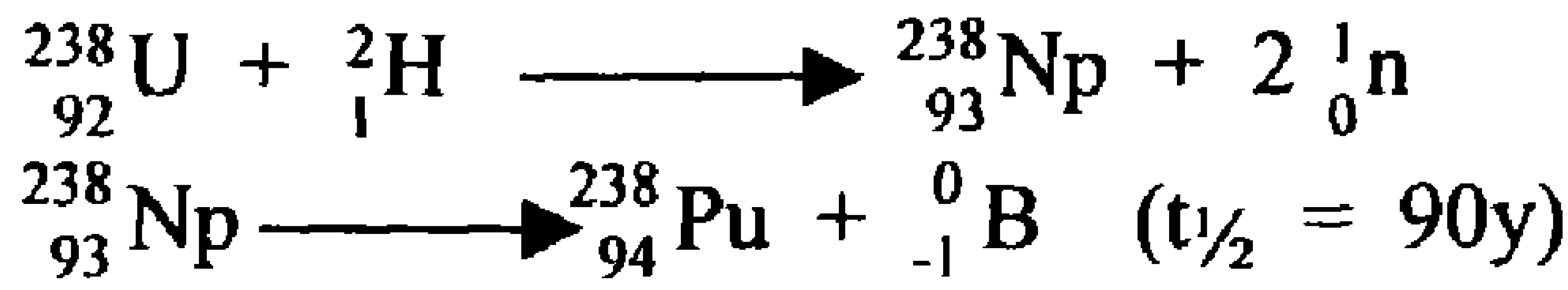
النبتونـيوم كـان أول عنـصر مـا بعد اليورانيوم (Trans uranium) تم تخليقه بواسطة (E,M.Machillan) فى عام ١٩٤٠. تم تكوينه بقذف اليورانيوم بنيوترون بطئ.



$$^{238}_{92}U + ^{1}_{1}n \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}B$$

ب - البلوتونيوم: (Plutonium) (Z = 94)

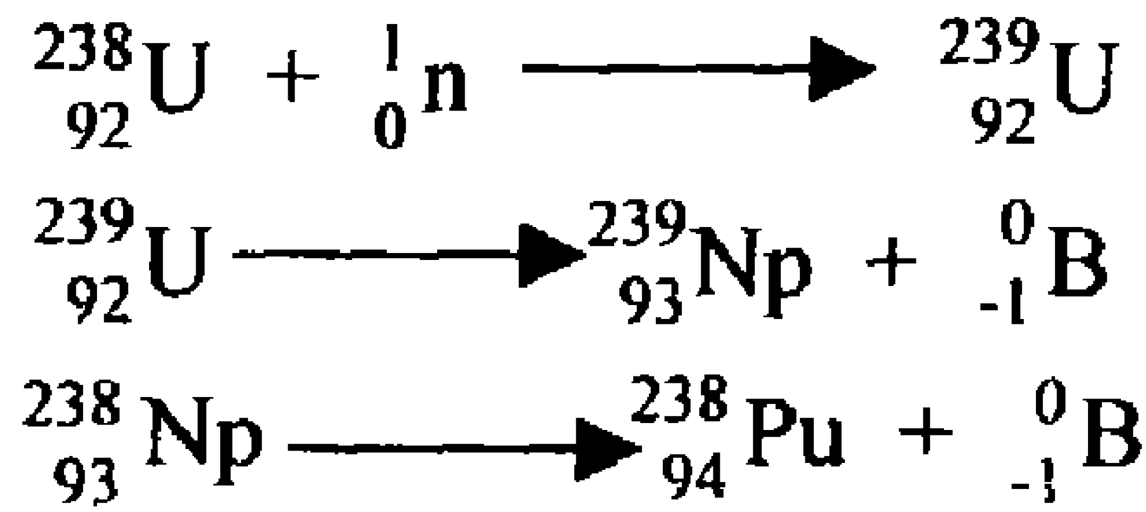
Pu-238 تم تخليقه عند قذف U-238 بالديتيريون



$$^{238}_{92}U + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{238}_{93}Np + 2\, ^{1}_{0}n$$

$$^{238}_{93}Np \longrightarrow ^{238}_{94}Pu + ^{0}_{-1}B \quad (t_{1/2} = 90y)$$

نظيره Pu-239 ($t_{1/2} = 2.4 \times 10^{4}$ y) تم تحضيره بقذف U-238 بالنيوترون.



$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{239}_{92}U$$

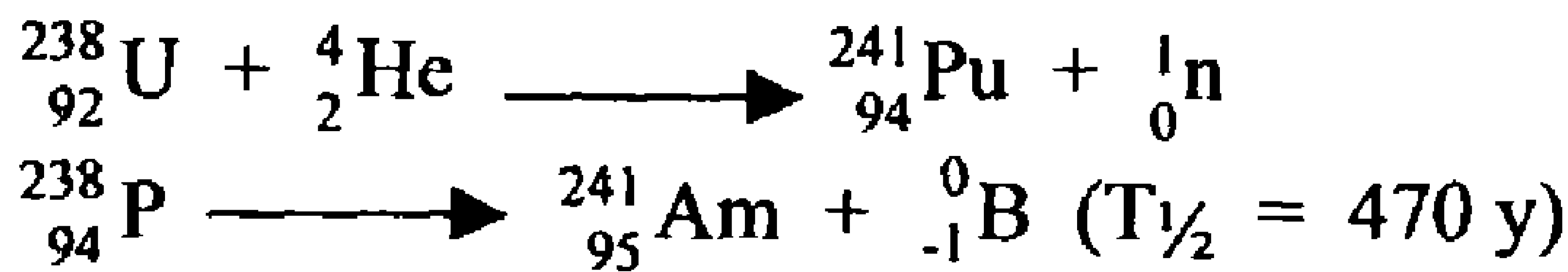
$$^{239}_{92}U \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}B$$

$$^{238}_{93}Np \longrightarrow ^{238}_{94}Pu + ^{0}_{-1}B$$

- Pu-239 هو عنصر انشطارى بالينوترون البطيء مثل U-235 من المحتمل أن يصبح مصدرا هاما للطاقة النووية.
- P - 239 كان المادة الانشطارية التى استخدمت فى القنبلة الذرية التى أسقطت على نجازاكى فى عام ١٩٤٥.
- الأسماء نبتونيوم وبلوتونيوم مشتقة من أسماء أجرام سماوية Piuto , Neptume
- Pu هو من بين العناصر شديد السمية المعروفة. جرعة مقدارها 10^{-6} جرام تعتبر قاتلة والجرعات الأصغر تعتبر مسرطنة.

جـ- أميريكيوم (Americium) (Z = 95)

تم تخليق هذا العنصر بقذف U-238 بواسطة جسيمات ألفا عالية السرعة الخارجة من السيكلوترون.



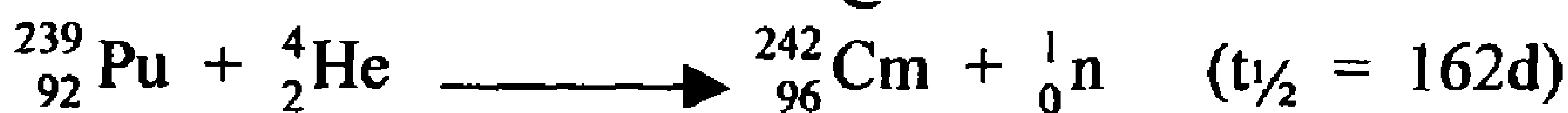
$$^{238}_{92}U + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{241}_{94}Pu + ^{1}_{0}n$$

$$^{238}_{94}P \longrightarrow ^{241}_{95}Am + ^{0}_{-1}B \quad (T_{1/2} = 470\ y)$$

هذا يبعث جسيمات ألفا ولذلك، فإنه يستخدم كمصدر معملى لجسيمات ألفا.

د - كوريوم (Curium) (Z = 96)

تم تصنيع هذا العنصر تتفاعل Pu - 239 مع جسيمات ألفا

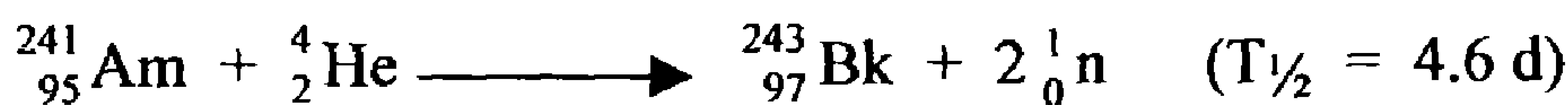


$$^{239}_{92}Pu + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{242}_{96}Cm + ^{1}_{0}n \quad (t_{1/2} = 162d)$$

سمي على شرف ميرى كورى وبيير كورى الذين قاموا بأبحاث مكثفة عن النشاط الإشعاعى الطبيعى.

هـ - بيركيليوم (Berkelium) (Z = 97)

تم تخليق هذا العنصر بقذف Am—241 بجسيمات ألفا عالية السرعة



$$^{241}_{95}Am + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{243}_{97}Bk + 2\,^{1}_{0}n \quad (T_{1/2} = 4.6\ d)$$

فقد سمى على شسرف جامعة بيركلى فى الولايات المتحدة.

و - كاليفورينوم (Califoryium) (Z = 98)

تم التصنيع بلهذا العنصر بتفاعل Cm - 242 مع جسيمات ألفا

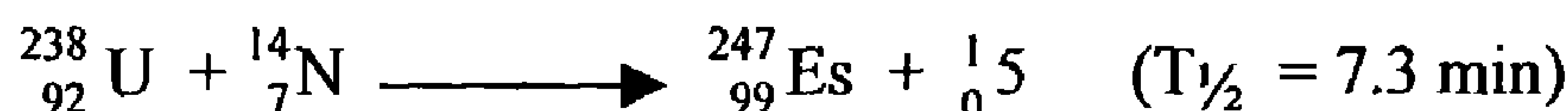


$$^{242}_{96}Cm + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{245}_{98}CF + ^{1}_{0}I \quad (T_{1/2} = 36\ h)$$

لقد سمى على شرف ولاية كاليفورينا.

ز - أنشتينيوم (Einsteinvm) (~ = ٩٩)

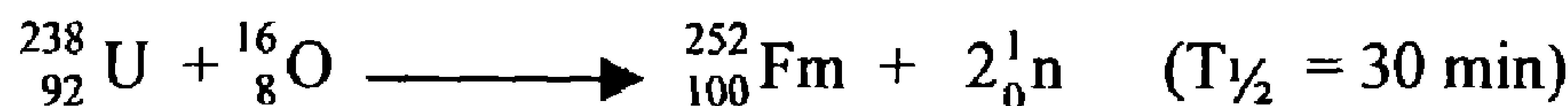
هـذا العنـصر مـسمى علـى شـرف الـبرت أنـشتين وأنـتج بقـذف U-238 بقذيفـة ثقيلة N - 14.



$$^{238}_{92}U + ^{14}_{7}N \longrightarrow ^{247}_{99}Es + ^{1}_{0}5 \quad (T_{1/2} = 7.3\ min)$$

ح - فيرميام: (Fermium) (Z = 101)

وقـد سمـى هـذا العنـصر علـى شرف عامل الطبيعة الإيطالى (Fermi) وقد تم تصنيعه بقذف U-238 بواسطة O - 16



$$^{238}_{92}U + ^{16}_{8}O \longrightarrow ^{252}_{100}Fm + 2\,^{1}_{0}n \quad (T_{1/2} = 30\ min)$$

ط - مندليفيوم: (Mendelevium) (Z = 101)

تخليق منليفيوم يتم طبقا للمعادلة الآتية:



$$^{253}_{99}En + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{256}_{101}Md + ^{1}_{0}n$$

وهـو كـذلك غـير مـستقر أى أنه يحدث له انشطار فورى بعد تكوينه. وقد سمى على شرف العالم الروسى دغيرى منذليف صاحب الجدول الدورى الشهير.

د - نوبيليوم (Nobelium) (Z = 102)

لقـد كـان أول تخلـيق لهـا العنـصر فـى معهد نوبل للطبيعية فى إستوكهولم بالسويد حيث كان الاسم نوبيليسوم. وقد تم تصنيعه بقذف Cm - 232 بواسطة C - 13.

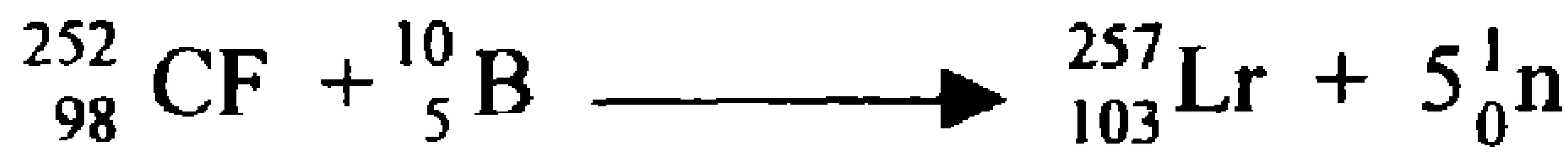


$$^{242}_{96}Cm + ^{13}_{6}C \longrightarrow ^{253}_{102}No + 2\,^{1}_{0}n$$

هذا كذلك مثل Mv يتحلل فى الحال.

ك - لوزرينسام (Lawrencium) (Z = 103)

تم تخليق هذا العنصر من خلال التفاعل ما بين Cf - 253 و B - 10



$$^{252}_{98}CF + ^{10}_{5}B \longrightarrow ^{257}_{103}Lr + 5^{1}_{0}n$$

٢- سلسلة الأكيتدينات (Asctinide Series)

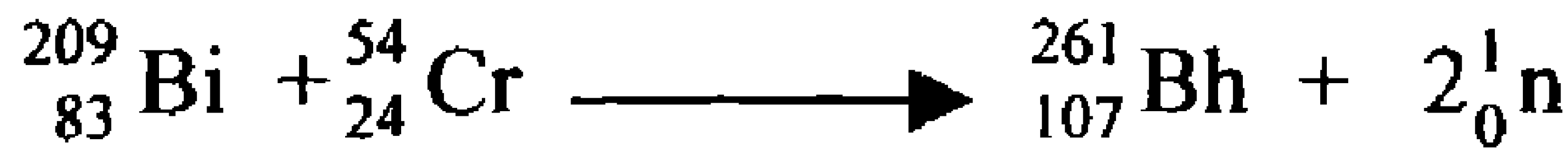
(وهى العناصر التى يزيد رقمها الذرى عن 88) تكتمل عند العنصر 103.

العناصر ما بعد Z = 103 : العناصر فائقة الثقل.

Elements Beyond z = 103: Superheavy Elements

تخليق العناصر بالرقم الذرى Z = 104, 105, 106, 107, 108, 109 ثبت تبنى تقنية القذف لهدف ذو نواه ثقيلة بواسطة مقذوفات ثقيلة عند سرعة عالية (Accelerated)

فمثلاً، العنصر 107، Bohrium تم تخليقه بقذف Bi بقذيفة من Cr



$$^{209}_{83}Bi + ^{54}_{24}Cr \longrightarrow ^{261}_{107}Bh + 2^{1}_{0}n$$

إسراع مقذوف ثقيل مثل Cr - 24 يكون صعبا ويتطلب جهاز إسراع (Accelerator) للجسيمات عالى التكلفة.

العنصر 109 تم تصنيعه بقذف Bi - 209 بواسطة قذيفة معجلة من Fe - 56

تلك العناصر تسمى العناصر فائقة الثقل. وهى عناصر (d - Black).

وجد أن لها نصف عمر قصير جداً.

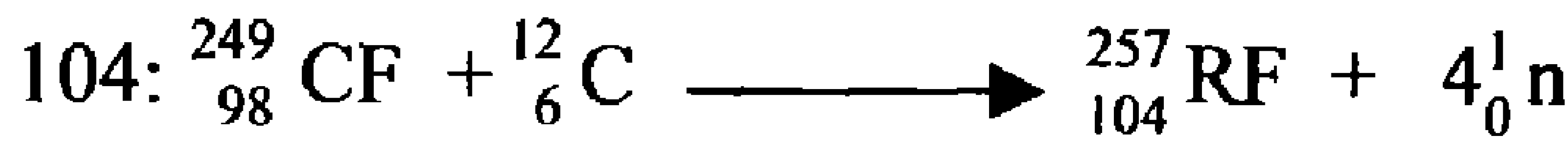
جدول نصف العمر للعناصر فائقة الثقل.

$T_{1/2}$ بالثوان	العدد الكتلي	الرمز	الاسم	Z
3	259	RF	Ruther Fordium	104
65	261			
4	258	Db	Dubnium	105
1.5	260			
34	262			
180	260	Sg	Seaborgium	106
0.12	262	Bh	Bohrium	107
2×10^{-6}	265	Hs	Hassium	108
5×10^{-6}	266	Mt	Meitnerium	109

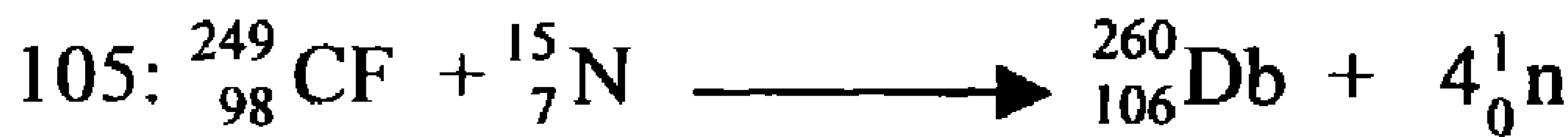
العناصر ذات Z = 114 (الرقم السحرى للبروتونات)، Z = 116 (مع رقم سحرى لـ 164 نيوترون) يتوقع أن تكون مستقرة مع بناء نووى جيد. تم عمل محاولات لتخليق هذين العنصرين، النجاح فى هذا تم تحقيقه قريبا بواسطة مجموعة من علماء الولايات المتحدة.

٣- تخليق العناصر فائقة الثقل (Synthesis Of Superheavy Elements)

تخليق العناصر فائقة الثقل عبر عنه بالمعادلات الآتية:



$$104:\ {}^{249}_{98}CF + {}^{12}_{6}C \longrightarrow {}^{257}_{104}RF + 4{}^{1}_{0}n$$



$$105:\ {}^{249}_{98}CF + {}^{15}_{7}N \longrightarrow {}^{260}_{106}Db + 4{}^{1}_{0}n$$



$$106:\ {}^{209}_{83}CF + {}^{18}_{8}O \longrightarrow {}^{263}_{106}Db + 4{}^{1}_{0}n$$

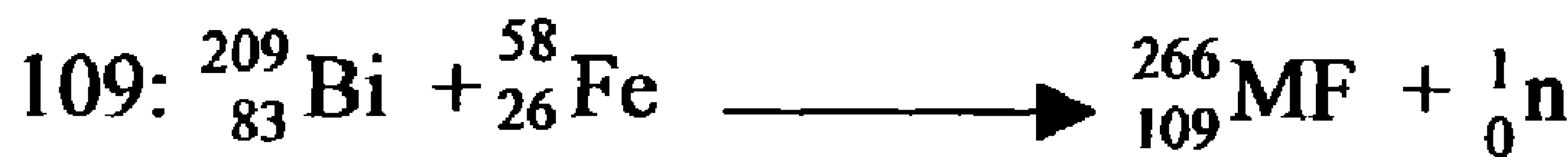


$$107:\ {}^{209}_{83}Bi + {}^{54}_{24}Cr \longrightarrow {}^{262}_{107}Bh + {}^{1}_{0}n$$



$$108:\ {}^{208}_{82}Pb + {}^{58}_{26}Fe \longrightarrow {}^{265}_{108}Hs + {}^{1}_{0}n$$

العنصر 109 تم تخليقه فى المانيا فى عام ١٩٨٢. حيث تمت عملية التخليق بالاندماج على البارد (Cold Fusion)، متضمنا الجمع بين نويات Bi, Fe عند درجة الحرارة العادية.



$$109:\ {}^{209}_{83}Bi + {}^{58}_{26}Fe \longrightarrow {}^{266}_{109}MF + {}^{1}_{0}n$$

العناصر 110 ,111 ,112. تم تصنيعها فى ألمانيا بواسطة جمعية الأبحاث للأيونات الثقيلة. وهذه العناصر لم يتم تسميتها العنصر 114 فى حالة تصنيعه سوف يحتوى على

رقم سحرى للبروتونات (114) ورقم سحرى للنيوترونات (164)، لذلك فإنه يمكن أن يكون مستقرا ليوجد ويعيش. $^{208}_{82}Pb$ شديد الاستقرار وله رقم سحرى للبروتونات (82) ورقم سحرى للينوترونات (126) لذلك فإن العنصر 126، حيث النواة ذات رقم سحرى مزدوج يمكن كذلك أن يكون مستقرا.

أبحاث عديدة يتم عملها لإنتاج هذين العنصرين (Z = 114 , 116).

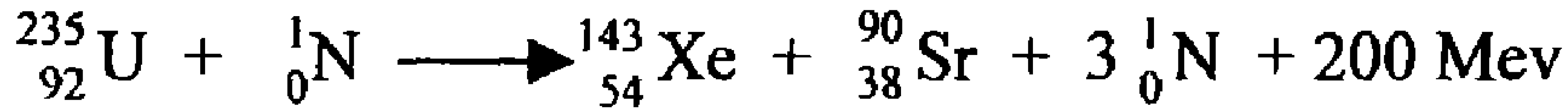
هذين الاثنين يمكن أن يمثلا جزر من الاستقرار النوى رغما عن رقمهم الذرى العالى وكذلك العدد الكتلى.

الفصل الثامن

الانشطار النووى والاندماج النووى

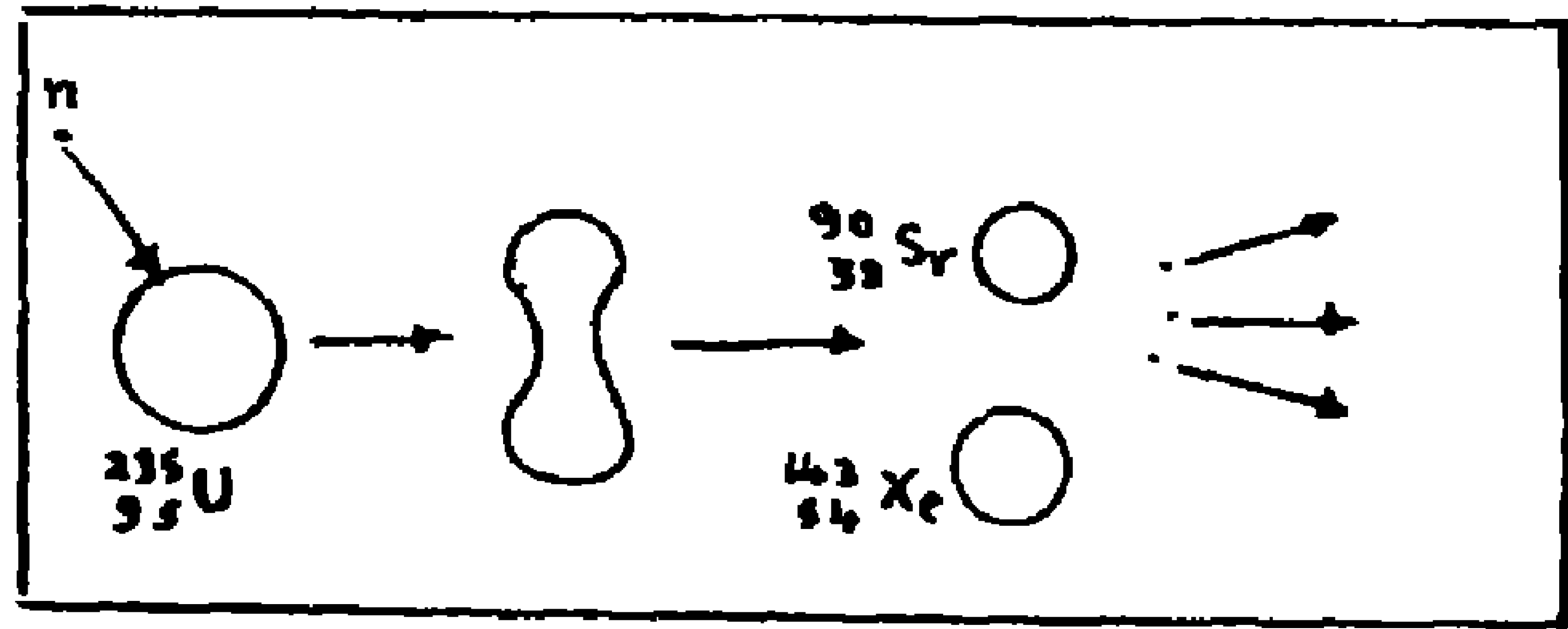
الانشطار النووى: (Nuclear Fission)

الانـشطار النووى هو انشطار نواه ثقيلة (حيث الكتلة > 200) إلى نويات أصغر ذات كـتلة متوسـطة. كذلك يتكون فى الانشطار واحد أو أكثر من النيوترونات. الانشطار يطلق كمية ضخمة من الطاقة. مصلا للانشطار النووى هى التفتيت لـ U - 235.

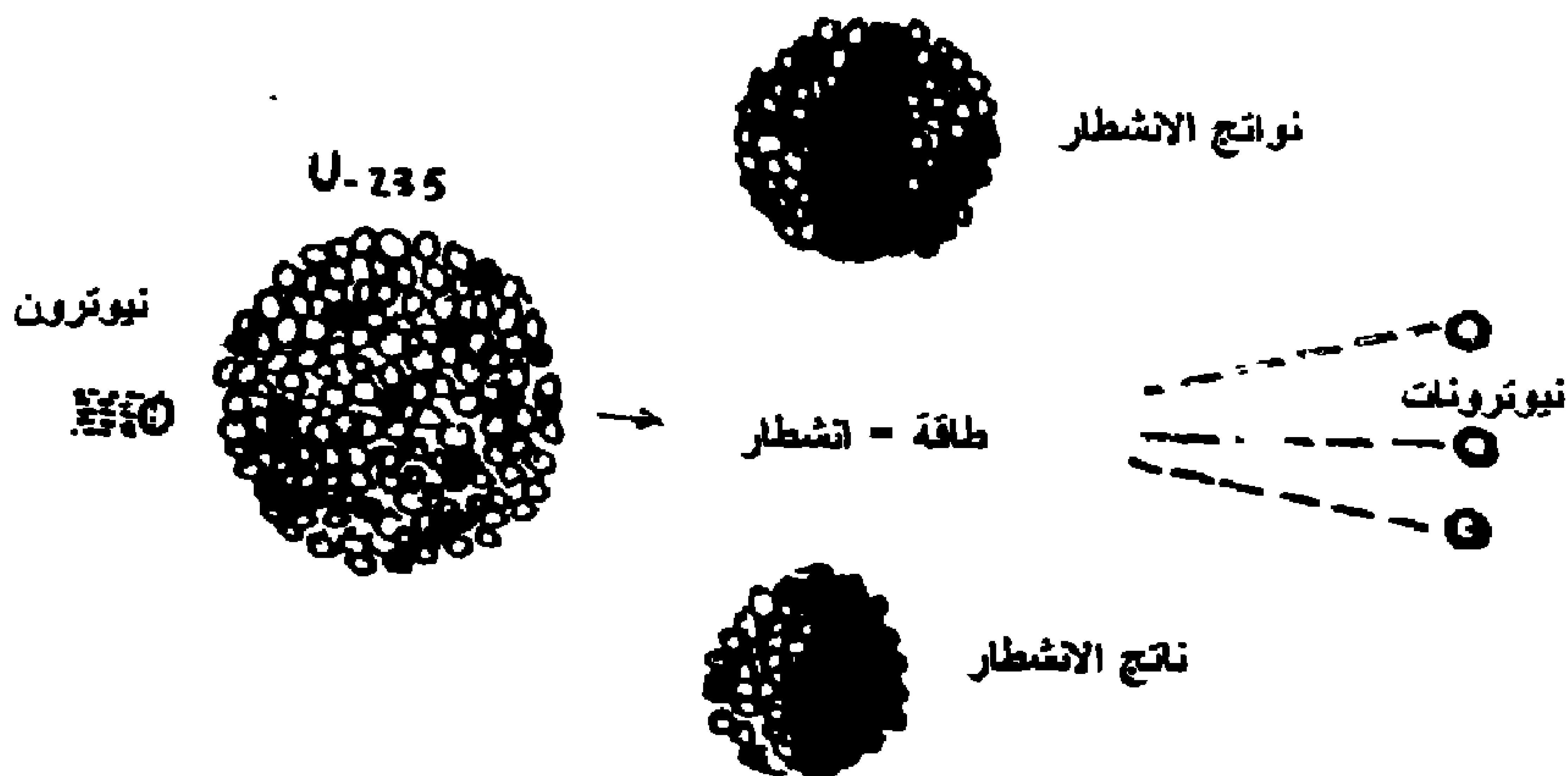


$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}N \longrightarrow {}^{143}_{54}Xe + {}^{90}_{38}Sr + 3\,{}^{1}_{0}N + 200\ Mev$$

هـذا الانـشطار يـتم تنفـيذه بقـذف نـويات U - 235 بالنيوتـرونات الحـرارية. النيوتـرونات الحرارية هى نيوترونات بطيئة، حيث سرعتها تقارن لتلك الجزئيات للغاز عـند درجـة حرارة الغرفة وهى تسمى (Thermal Neutrons). الانشطار النووية يرمز له فـى الـشكل (٨/١) حـيث الـشكل (-أ) يـشرح عملـية الانشطار المبنية على نموذج نقطة السائل للنواه.



انشطار نووى



نواتج الانشطار النووي

شكل (٨/١) الانشطار النووى

أ - خصائص الانشطار النووى: (Characteristics Of Nuclear Fission)

الانـشطار الـنووى هو عملية منتجة للطاقة (Exoenergis) ، فهو يطلق كمية ضخمة من الطاقة. طاقة حرارية وطاقة حركية وضوء.

قـوة الرباط للنيوكلون (البروتون أو الينوترون) لليورانيوم 235- أقل من مجموع طاقات الربط لـ Sr - 90 , Xe - 143.

هذا يقتضي حتما انطلاق طاقة. مقدار طاقة الانشطار يمكن حسابه من طاقات الرباط.

النواة	طاقة الرباط (10^{-10} Joules)
U-235	2.82
Sr-90	1.23
Xe-143	1.92

طاقات الرباط للنواتج = $1.23 + 1.92 = 3.15 \times 10^{-10}$ جول

طاقات الرباط لمواد التفاعل = 2.82×10^{-10} جول

∴ الفرق في طاقات الرباط = 3.3×10^{-10} جول

لذلك فإن طاقة 3.3×10^{-11} تنطلق عند انشطار نواة يورانيوم واحده

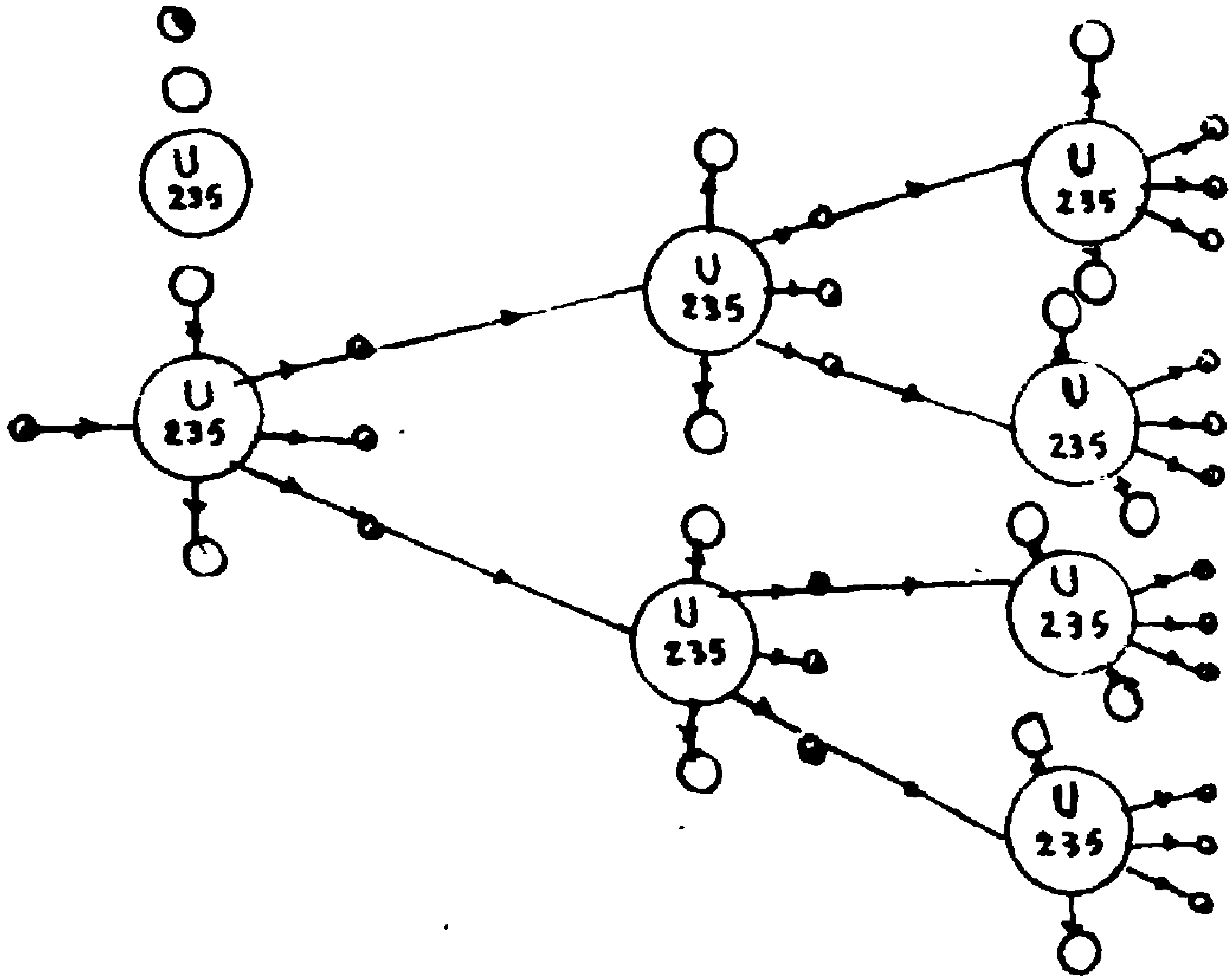
بالنسبة لجزئ واحد من اليورانيوم، الطاقة المنطلقة هى (3.3×10^{-11} جول) × ثابت أفوجادرو = (3.3×10^{12} جول)

(ثابـت أفوجادرو هو وحدة كمية تساوي 6.0225×10^{23} من الذرات أو الجزيئات أو سواها).

هـذه العملـية عالية الإنتاج للطاقة، فى الحقيقة، فهى أكبر بكثير عن الطاقة المنطلقة عـند احـتراق طن من الفحم (8×10^{7} J) — لذلك فإن الانشطار النووى هو مصدر الطاقة كبيرة.

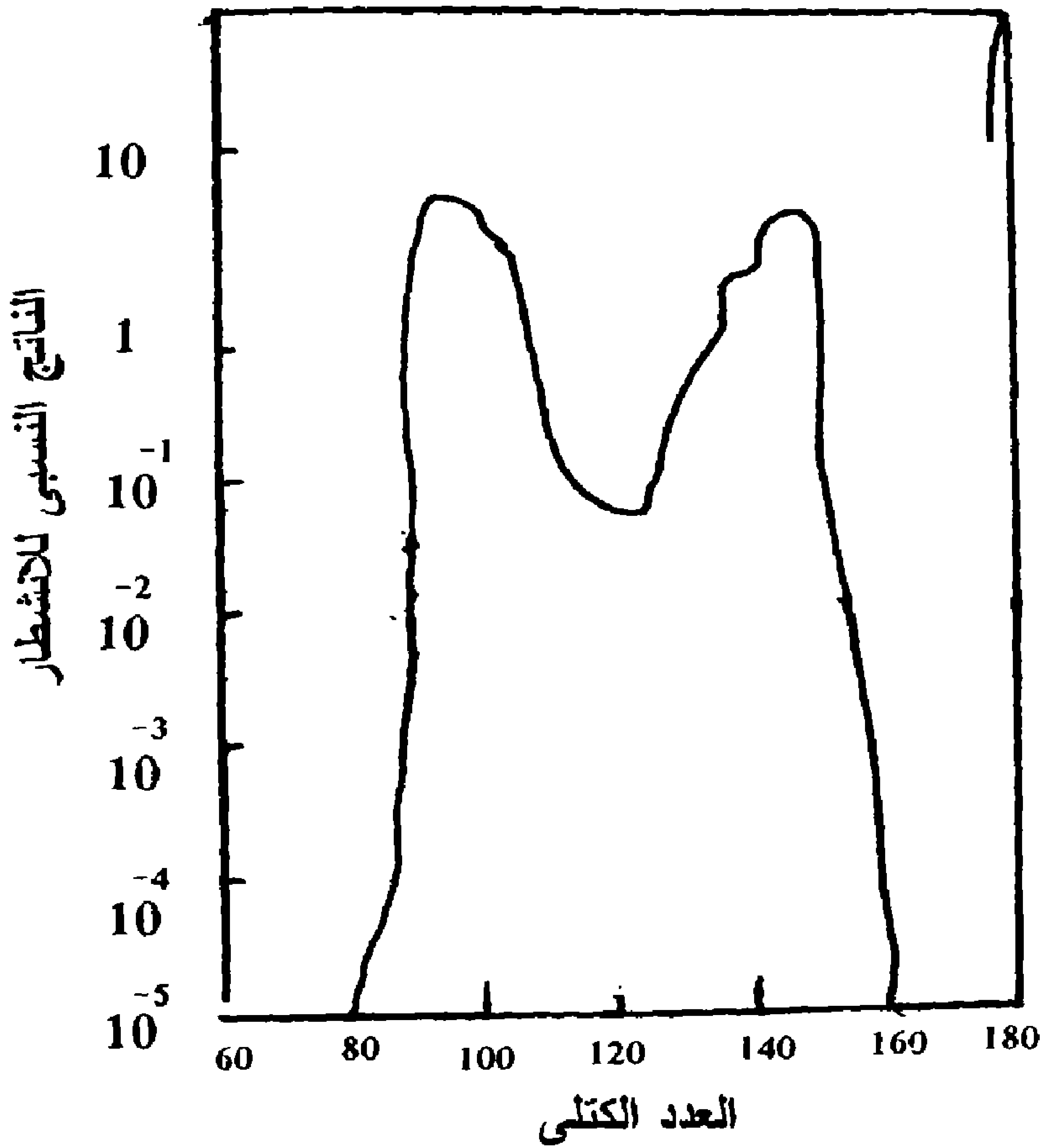
ب - انـشطار اليورانـيوم -235 هـو تفاعـل متسلـسل. عـند قـذف نـواة واحـدة مـن اليورانيوم بالنيوترون ، فإنه يتكون ثلاث نيوترونات. الثلاث نيوترونات هذه تقوم بالتالى بانـشطار ثـلاث نويات أخرى من اليورانيوم، منتجة تسعة نيوترونات وهكذا. لذلك فإنه بمجرد بداية الانشطار، فإنه سوف يستمر بذاته. الانشطار بذلك يكون ذاتى الاستمرار.

هـذا الـتفاعل المتسلسل يجعل الانشطار محدثا للانفجار، مع انطلاق كمية ضخمة من الطاقات الحركية والحرارية فى المجال المحيط.



شكل (٨/٢) التفاعل المتسلسل

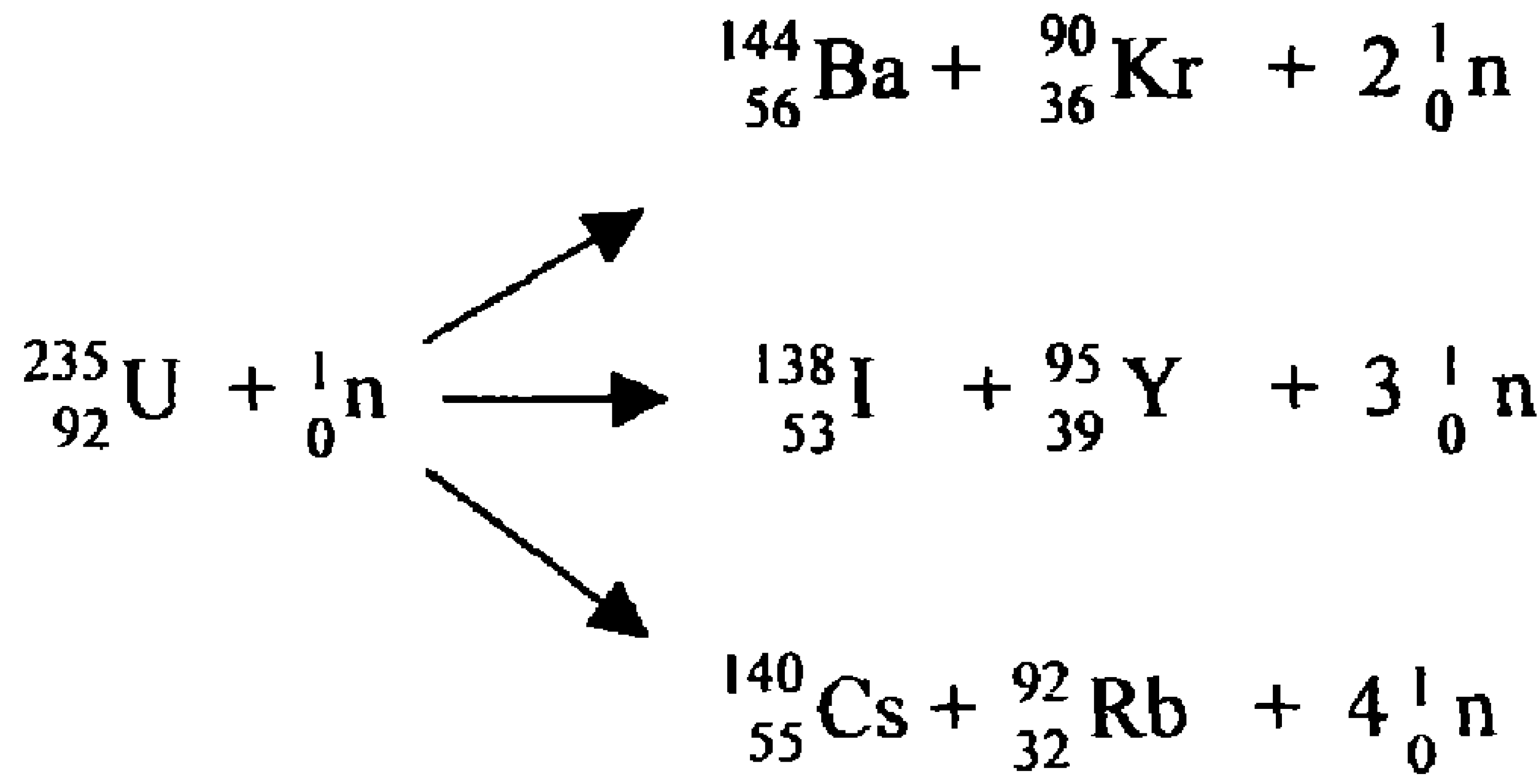
جـ - المنـتجات التـى تكـونت مـن الانـشطار هـى خلـيط معقـد. المعادلـة الخاصـة بالانـشطار تـبين فقط المنتجين اللذان يتكونا فى نسبة كبيرة. بالإضافة إلى تلك النويتين، فقد تم التعـرف علـى حـوالى 160 نظـير لحوالى 40 عنصر ناتج الانشطار. كثيرا من تلك الـنواتج تكـون ذات خاصـية إشعاعية ولذلك تشكل خطورة عند تداولها. النواتج المتكونة بكمـيات مخـتلفة، بعضها بكميات كبيرة وبعضها بكميات صغيرة. هذه الحقيقة موضحة فـى المخطـط الـذى يسمى منحنى ناتج الانشطار (fission Tiled Curre) ، وهو بتوقيع النواتج النسبية للمنتجات مقابل عددها الكتلى شكل (٨/٣).



شكل (٣/٨) منحنى ناتج الانشطار

د - الانشطار يكون متسلسلا بطبيعته فقط فى حالة وجود اليورانيوم (U-235) الكافى فى العينة لاقتناص كل النيوترونات المتكونة. بخلاف ذلك، فإن النيوترونات سوف تهرب من العينة وتوقف حدوث عملية التسلسل. أدنى كتلة مطلوبة من اليورانيوم - 235 للاستمرار الذاتى للانشطار المتسلسل تسمى الكتلة الحرجة (Critical Mass). إذا كانت كتلة اليورانيوم -235 حرجة أو أكبر من الحرجة، عندئذ فإن معظم النيوترونات المتولدة سيتم اقتناصها بواسطة U-235 بما يحقق استمرار التفاعل المتسلسل.

هـ - من الممكن إنتاج منتجات أولية مختلفة بمختلف أنواع الانشطار لنفس النواة U-235. كيفية الانشطار للنواة تعتمد على الطاقة التى تكتسبها النواة الانشطارية. بخلاف النوع السابق ذكره توجد ثلاث تفاعلات انشطارية عامة معروفة.



$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow \begin{cases} ^{144}_{56}Ba + ^{90}_{36}Kr + 2\,^{1}_{0}n \\ ^{138}_{53}I + ^{95}_{39}Y + 3\,^{1}_{0}n \\ ^{140}_{55}Cs + ^{92}_{32}Rb + 4\,^{1}_{0}n \end{cases}$$

المنتجين الرئيسيين لهم كتلة مختلفة فى كل حالة. مثل هذا الانشطار يسمى الانشطار الغير متماثل (asymmetric Fission). التفاعل المتماثل الذى يعطى اثنين من المنتج الوليد (Daughters) للنوية بتنس القدر من الكتلة تقريبا يكون نادرا.

المفاعلات النووية : (Nuclear Reactors).

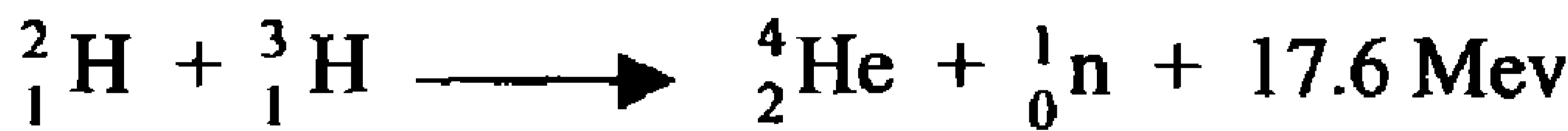
المفاعل النووى هو تجهيز يستخدم لتنفيذ التحكم فى الانشطار النووى.

أول مفاعل نووى فى العالم.

إن اكتشاف الانشطار لذرات اليورانيوم بالنيوترونات فى عام ١٩٣٩ كان بداية التطوير نحو تطويع الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء باستخدام المفاعلات النووية. أول مفاعل نووى فى العالم التى تم بناؤه وتشغيله سرا فى عام ١٩٤٢ فى شيكاغو . طاقم من العلماء برئاسة (Fermi) هو الذى قام بهذا الإنجاز. وكان هذا من أهم الاختراعات فى القرن العشرين. الانشطار النووى نفسه تم أول استخدام له فى برلين فى عام ١٩٣٨ بواسطة (Otto Habn). وقد اقترح تسمية الانشطار النووى لعملية انشطار U-235 إلى جسيمات صغيرة.

٢ – الاندماج النووى : (Nuclear Fusion) :

تفاعل النظائر لعدد اثنين من النويات الصغيرة لتكوين نواه أثقل ومستقرة يسمى الاندماج النووى. فمثلاً، نويات الديتيريوم والتريتيوم يمكن اندماجهما لإنتاج نواة الهيليوم.



$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + 17.6\ Mev$$

خواص الاندماج النووى:

أ - عند جمع نويتين معا لاندماجهما، فإنه يحدث تنافر كولومبى ضخم جدا (حاجز الجهد Potential Barrier). هذا التنافر أو حاجز الجهد يمكن التغلب عليه فقط عند درجة حرارة عالية، فى حدود الملايين من درجات الحرارة. لذلك، فإن تفاعلات الاندماج يمكن أن تحدث فقط عند درجات حرارة عالية جدا. لهذا السبب فإن هذه التفاعلات تسمى التفاعلات النووية الحرارية.

ب - تفاعل الاندماج هو تفاعل عالى الإنتاج الحرارى، فهو يطلق كمية مهولة من الطاقة نتيجة تحول الكتلة إلى طاقة.

جـ - الاندماج النووى يمكن فقط بالنويات الخفيفة. فى حالة النويات الثقيلة فإن الحاجز ذو الطاقة العالية للتفاعل لا يمكن مقاومته. هذا بالإضافة إلى أنه لا يمكن تكوين منتج مستقر باندماج النويات الضخمة.

د - مشاكل تنفيذ الاندماج النووى:

إنتاج درجة الحرارة المرتفعة جدا والمطلوبة للاندماج فى العمل شديد الصعوبة وعالى التكلفة.

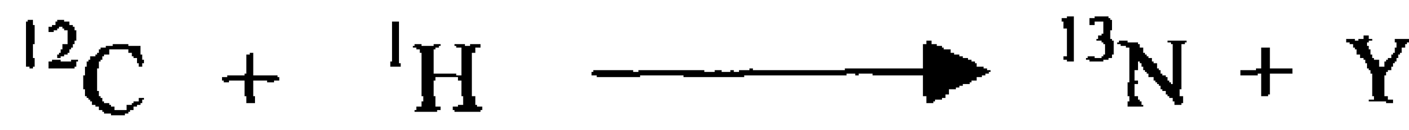
حتى فى حالة إمكان إنتاج درجة الحرارة هذه، فإنه لا يوجد وعاء تفاعل يمكن أن يتحمل درجة الحرارة المصاحبة العالية هذه. حجز (Holding) البلازما فى الفضاء (Space) بواسطة مجالات مغناطيسية لإحداث الاندماج جارى تجربته. لذلك فإن الاندماج النووى الناجح لم يتم تنفيذه فى أى معمل تجريبي.

٣ - طاقة النجوم: Stellar Energy

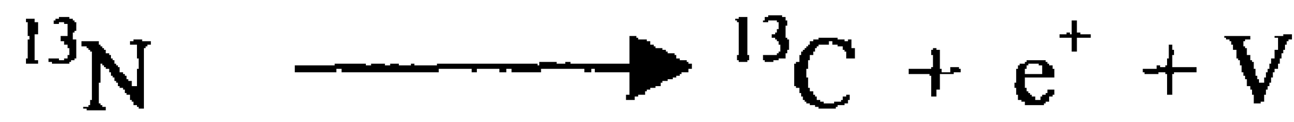
تنتج النجوم كميات ضخمة من الطاقة الحرارية والضوئية. الاندماجات النووية هى مصدر هذه الطاقات. سطح النجوم شديد السخونة. فمثلاً، درجة حرارة الشمس هى حوالى ١٥ مليون درجة كيلفن. درجة الحرارة هذه كافية للاندماج النووى. دورة تفاعلات الاندماج النووى يقترح أنها تشرح إنتاج الطاقة الشمسية. حصيلة التأثير لهذه الدورة هى الانصهار لأربع من البروتونات إلى جسيم ألفا واحد. فى هذه الدورة ينبعث أثنين من البوزيترونات.

دورة الكربون - النيتروجين:

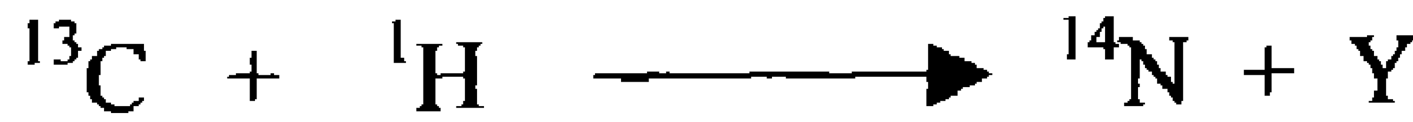
لقد اقترح (H. Beth) تسلسل التفاعلات لشرح أصل الطاقة الشمسية. هذا التفاعل المتتالي يسمى دورة الكربون – النيتروجين.



$$^{12}C + {}^{1}H \longrightarrow {}^{13}N + Y$$



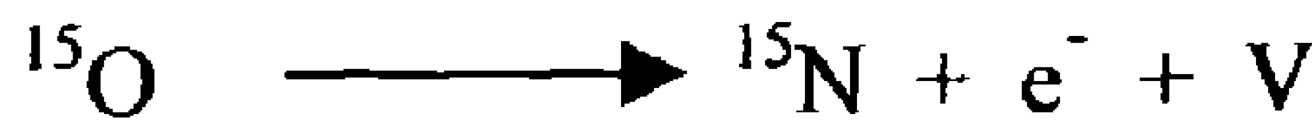
$$^{13}N \longrightarrow {}^{13}C + e^{+} + V$$



$$^{13}C + {}^{1}H \longrightarrow {}^{14}N + Y$$



$$^{14}N + {}^{1}H \longrightarrow {}^{15}O + Y$$

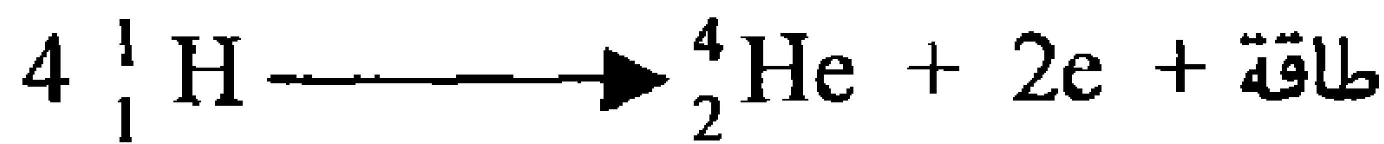


$$^{15}O \longrightarrow {}^{15}N + e^{-} + V$$



$$^{15}N + {}^{1}H \longrightarrow {}^{12}C + {}^{4}He$$

التفاعل الكلى هو:



$$4\,{}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2e + \text{طاقة}$$

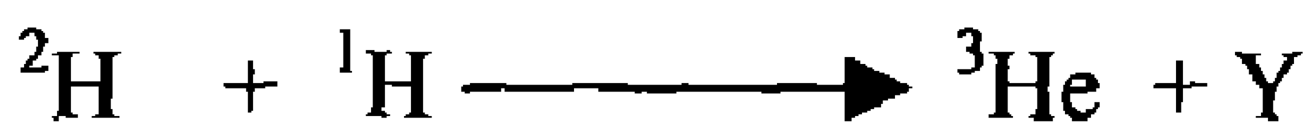
التفاعل الكلى للإنتاج ينتج طاقة كافية لقدرة وطاقة النظام الشمسى.

سلسلة بروتون - بروتون Proton - Proton Chain

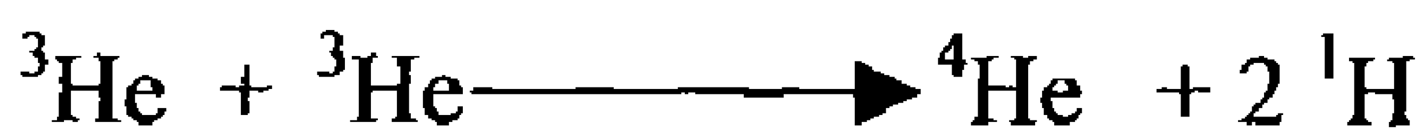
لقد افترض (E, Salpeter) تفاعل التسلسل للبروتون – البروتون المسبب للطاقة الشمسية.



$$^{1}H + {}^{1}H \longrightarrow {}^{2}H + e^{+} V$$



$$^{2}H + {}^{1}H \longrightarrow {}^{3}He + Y$$



$$^{3}He + {}^{3}He \longrightarrow {}^{4}He + 2\,{}^{1}H$$

هذه النظرية بالنسبة لأصل طاقة النجوم يتم تضخيمها بوجود كميات كبيرة من الهيدروجين والهيليوم فى الشمس.

طاقة الاندماج (Fusion Power)

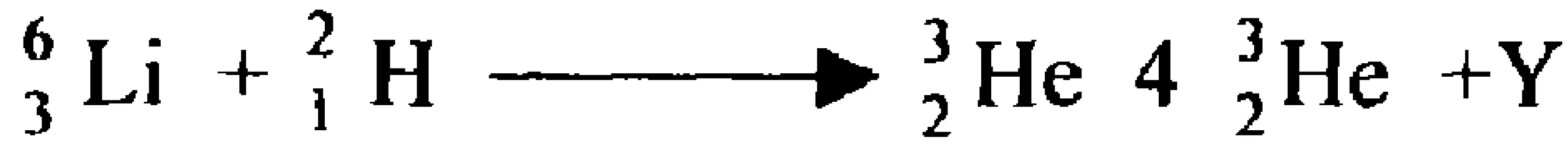
تفاعلات الاندماج يمكن أن تفيد كمصدر للطاقة وإنتاج الكهرباء إذا أمكن تنفيذها فى مفاعل وأحكامها.

الديتيروم الموجود فى الطبيعة يمكن استخدامه فى هذا المفاعل



$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + \text{طاقة}$$

اندماج الليثيوم مع البروتون هو تفاعل اندماج واعد لإنتاج الطاقة.



$$^{6}_{3}\mathrm{Li} + ^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow ^{3}_{2}\mathrm{He} \;\; 4 \;\; ^{3}_{2}\mathrm{He} + \mathrm{Y}$$

فـى مفاعـل إنـتاج الطاقـة بالانـدماج الذى تحت التجربة، ينتج اندماج الديتيروم – التريتـيوم نيوتـرونات عالـية الطاقـة. طاقة النيوترون هذه يمكن أن تمتص بواسطة غلاف من الليثيوم. الليثيوم الساخن يمكن عندئذ أن يتبادل حرارته مع الماء ويولد البخار.

حالـيا يـتم العديـد مـن الأبحـاث لبـناء مفاعـل الاندماج النووى فى الولايات المتحدة وروسيا. مفاعل الاندماج الموضح بالمعادلة التالية هو مصدر لإنتاج الطاقة.



$$^{6}_{3}\mathrm{Li} + ^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He}$$

الفصل التاسع

استخدام العلوم النووية

استخدام إشعاع جاما واستخدام النظائر :

أن تفهم طبيعة نواه الذرة خلال النصف الأول من القرن العشرين قد أدى إلى استخدامات مفيدة ومتعددة للعلوم النووية. تلك الاستخدامات هى من نوعين: وهما استخدام إشعاع جاما واستخدام النظائر:

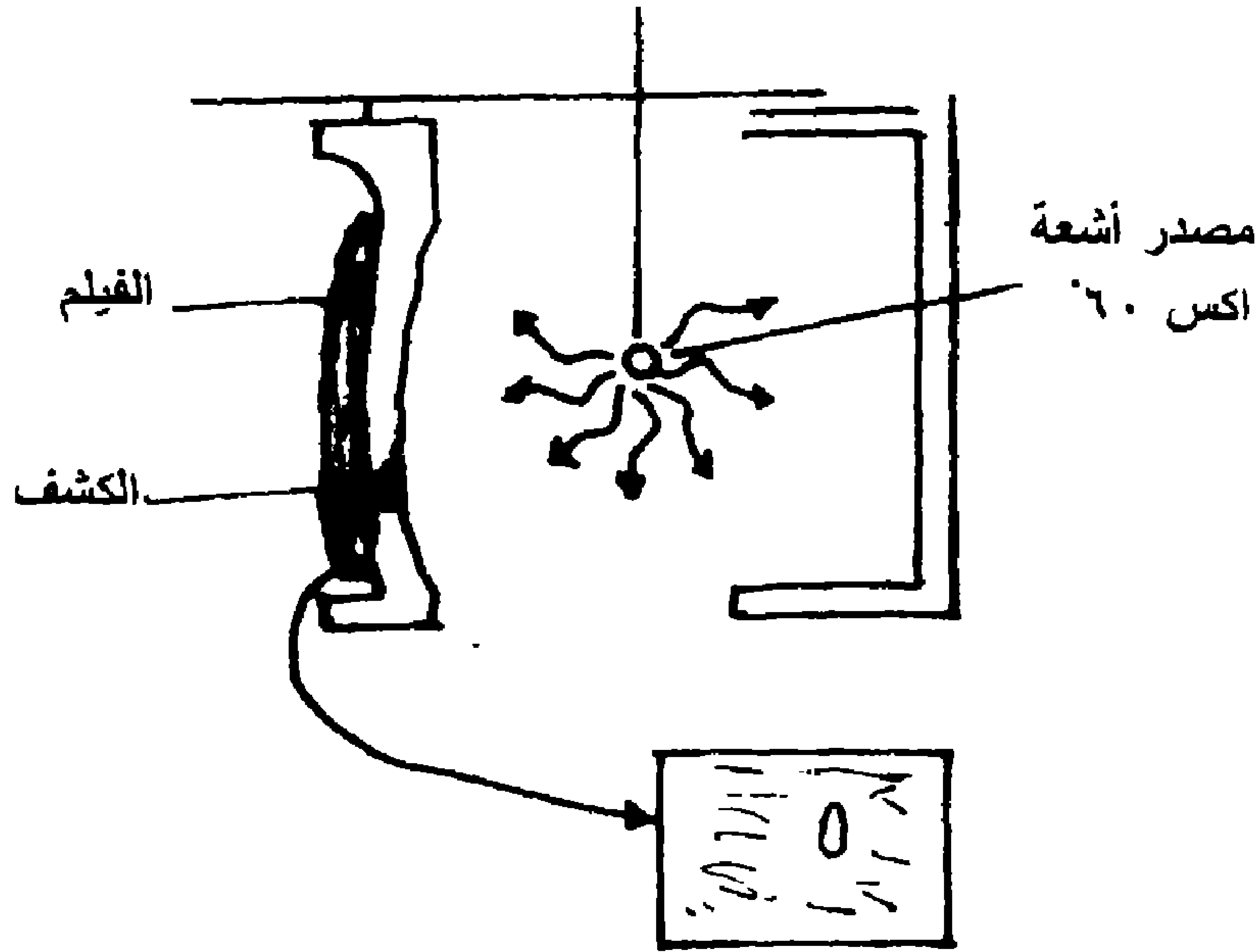
١- استخدام إشعاع جاما :

الحاصلات الزراعية مثل الحبوب، الخضروات والفاكهة..الخ يحدث لها تلف بفعل الحشرات والكائنات الضارة (Pests) والميكروبات والخمائر.. الخ وذلك أثناء تخزينها. عند تسليط إشعاع جاما على تلك الحاصلات فإنها تقتل تلك الكائنات وبالتالى فإن فترة التخزين لها تزداد. فمثلاً، الدجاج له ثلاث أيام للحفظ على الرف بعد التبريد، ولكن هذه الفترة تزداد إلى ثلاثة أسابيع بالإشعاع. الحاصلات الزراعية الجذرية مثل البصل التى تم إشعاعها بأشعة جاما لا تتلف لمدة طويلة.

الإشعاع يدمر كليه طفيليات لحم الخنزير ويزيد من فترة حفظه. الإشعاع يؤخر ويعيق نمو الكائنات فى مواد الغذاء، تعقيم المواد بالإشعاع أفضل من حفظ المواد الغذائية بالكيماويات ذلك لأن الكيماويات المستخدمة ثبت أنها ضارة.

أ- اختيار المسبوكات المعدنية :

تكون أى عيب مثل التشققات الشعرية أو الفجوات داخل المعدن المسبوك يمكن تأكيده باستخدام أشعة جاما. أشعة جاما من مصدر الكوبالت -60 (Co - 60) يتم مرورها خلال المعدن المسبوك. يتم وضع لوح فوتوغرافى على الجانب الآخر للمسبوك. تحميض اللوح الفوتوغرافي يظهر وجود ومكان وشكل العيب (شكل ١/ ٩) . هذه التقنية تسمى التصوير بالأشعة (Radiography).



فيلم محمض يوضح العيب – الفراغ

شكل (٩/١) التصوير بالأشعة

وجود عيوب فى مكونات الطائرة، والتى قد تؤدى إلى وقوع حوادث وتعرض حياة المسافرين للخطر يتم الكشف الروتينى عنها باستخدام التصوير بأشعة جاما.

ب- مقاومة الكائنات (الحشرية) الضارة بالتعرض للإشعاع:

Pest Control By Irradiation

عند تعريض الكائنات الحية الصغيرة إلى الإشعاع المنخفض لأشعة جاما فإنه يجعلها عقيمة ومطهرة (Sterile). عدد كبير جدا من ذكور تلك الكائنات تم توليدها فى المعمل وتحويلها إلى حاله العقم بإشعاعها. ذكر الحشرة العقيم يتزاوج مع الأنثى المحلية الحشرية ولكن لا يتم إنتاج نسل أو ذرية. هذا يقلل من عدد الحشرات هذه التقنية استخدمت أولاً فى فيينا منذ أربعين عاماً. قد يبدو أنها مكلفة لطريقة المقاومة الحشرات ولكنها ليست كذلك. هذه التقنية النووية قد ساعدت الولايات المتحدة فى التخلص من الدودة الحلزونية (Screw Warm) ، كما ساعدت أمريكا اللاتينية فى التخلص من ذبابة الفاكهة، وساعدت زنجبار فى التخلص من ذبابة تسى تسى. تقنية العقم للحشرة لا تسبب تلوث للبيئة كما هو الحال عند استخدام المبيدات الكيماوية.

جـ - تقنية الإقتفاء والتتبع (Tracer Technique)

تقنية الاقتفاء للأثر وتتبعه هى الطريقة التى يستخدم فيها نظير العنصر لدراسة التغير الطبيعى أو الكيميائي. التغير يتم رصده بتتبع الصفات الخاصة – الكتلة أو الإشعاعية – للنظير المستخدم. لتفهم هذه التقنية يلاحظ التفاعل الآتى:

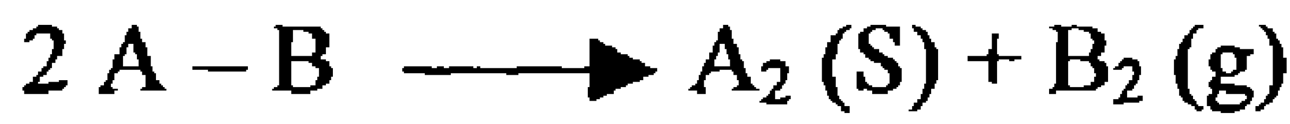


$$2\,A - B \longrightarrow A_2\,(S) + B_2\,(g)$$

حيث B —A : جزئ يعطى منتج غازى B_2

أولا النظير العادى لـ B فى B—A يتم استبداله بنظيره المشع.

عندئذ يتم تمثيل المعادلة بالآتى:



$$2\,A - B \longrightarrow A_2\,(S) + B_2\,(g)$$

مـع تقدم هذا التفاعل فإن إشعاعية مواد التفاعل A - B سوف تقل بسبب فقد B فى شـكل غـاز B_2. لـذلك فإن معدل هذا التفاعل يمكن تعيينه بقياس معدل الفقد للإشعاعية لمواد التفاعل (Reactant). هذه التقنية هى تقنية الاقتفاء والتتبع.

يقـال إن العنـصر (B) متتبع أو مقتفى نظيرى (Tagged). فهو يسمى عنصر الاقتفاء والتتـبع (Tracer Element). وهو يعمل كمقتفى نظيرى (Tag) للتعرف على التغير فى النظام.

طريقة التتبع يمكن استخدامها فى العديد من الأبحاث والدراسات.

١- العملـيات الطبيعـية مـثل التـبخير، التكثـيف، الإذابـة، حـركة الغـازات والسوائل..الخ.

٢- العمليات الكيميائية خاصة آليات التفاعل (Reaction Mechanisms).

٣- المباحث الإنسانية.

٤- تحركات التفاعلات (Kinetics Of Reactions)

٥- العمليات البيولوجية فى النباتات.

٦- تشخيص الأمراض.

عـند استخدام نظـير ثقيل غير مشع للتتبع، عندئذ يتم رصد كتلته فى تقنية التتبع. استخدام المقتفى المشع يفضل فى تقنيات الاقتفاء والتتبع ذلك لأنه يمكن قياس إشعاعيته

بدقة أثناء العملية الطبيعية أو الكيميائية. نظائر التتبع المقتفية المستخدمة عادة موضحة في الجدول.

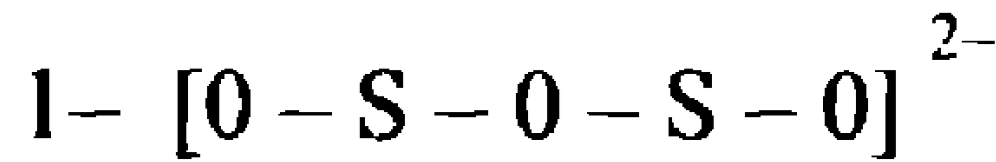
جدول (٩/١) نظائر التتبع العادية :

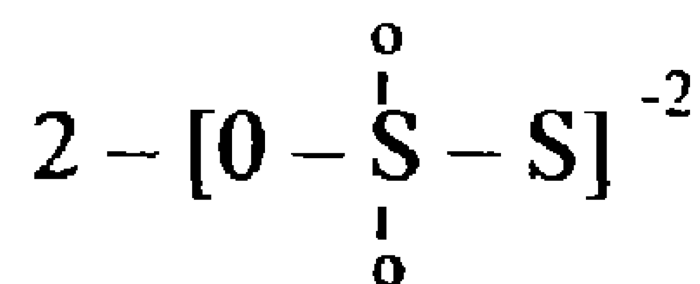
عنصر التتبع	المقتف النظيري Tag	الكشف
هيدروجين	^{2}H	الكتلة
	^{3}H	حسيمات – بيتا (B)
أكسيجين	^{18}O	الكتلة
الكربون	^{13}C	الكتلة
	^{14}C	جسيمات – B
نيتروجين	^{15}N	الكتلة
الصوديوم	^{24}Na	جسيمات – B
الفسفور	^{32}P	جسيمات – B
اليود	^{131}I	جسيمات – B

د – دراسة تركيبية : (Structral Study)

أيون الثيوسلفيت (Thiosulphate Ion)، $S_2O_3^{-2}$

يمكن تمثيله بواحد من التركيبات الآتية :


$$1-\ [0-S-0-S-0]^{2-}$$

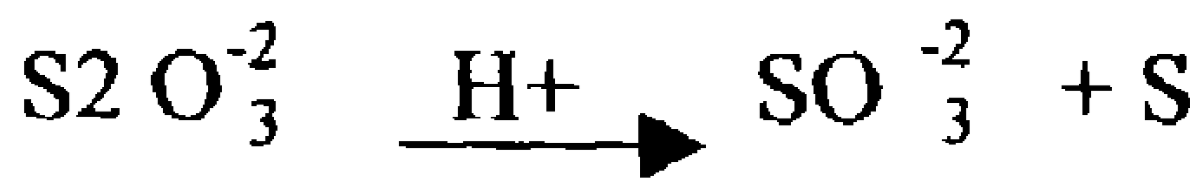

$$2-[0-\overset{o}{\underset{o}{S}}-S]^{-2}$$

فى التركيب رقم (٢) تكون ذرتى الكبريت (S) مختلفتى الارتباط (غير متكافئة – Equivalent–Non) على عكس فى حالة التركيب رقم (١). الاختيار بين الاثنين يمكن إقراره باستخدام النظير.

أيون الثيوسلفيت يتم تحضيره بغلى أيون السلفيد (Sulphide) مع زهور الكبريت.


$$SO_3^{-2} + S \longrightarrow S_2O_3^{-2}$$

عند معالجة الثيو سلفيت الناتج بحامض مخفف فإنه يتحول ثانيا إلى عنصر الكبريت والسلفيت (Sulphite)

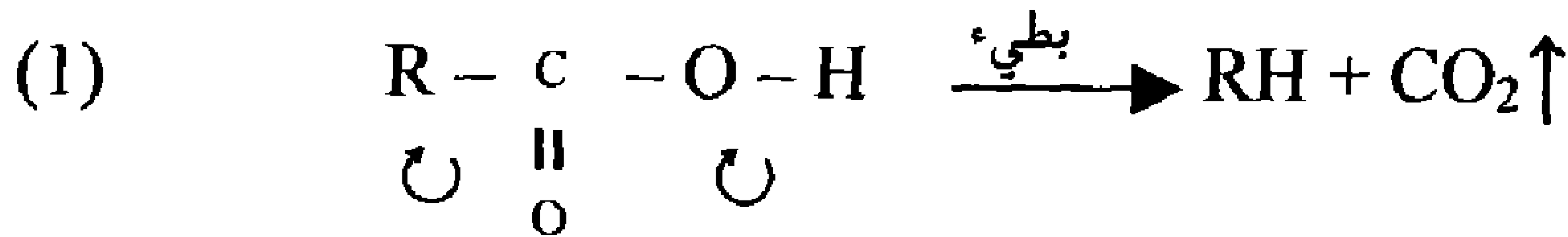

$S_2O_3^{-2} \xrightarrow{H^+} SO_3^{-2} + S$

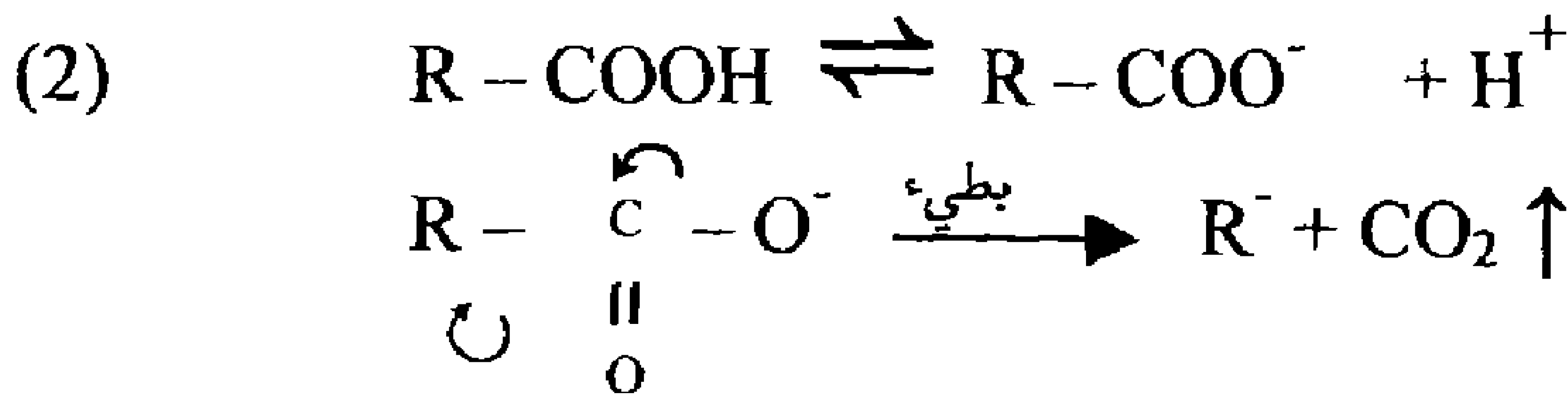
يـتم تحـضير $S_2O_3^{-2}$ باستخدام النظير المشع S-35. ثم يتم تحلل $S_2O_3^{-2}$ المرقمة التـى تحـوى جـزئيات نظائـرية مميـزة (Labeled)، ويتم مراجعة SO_3^{-2}، S. لا يلاحظ نـشاط (S-35) في SO_3^{-2}، كـل S-35 يـوجد في شـكل عنصر الكبريت. إذا كانت الذرتين مـرتبطتين بـشكل متماثل، عندئذ فإن نشاط S-35 سيوجد فى كل من SO_3^{-2}، S. لذلك يكـون مـن الواضـح أن ذرتين S في $S_2O_3^{-2}$ هما غير متكافئتين تركيبيا كما فى التركيب رقم (٢).

تعـيين وتتـبع جـزئ DNA (الحـامض الـنووى الوراثـى)، أى النظام التى تتصل به جـزئيات الأحماض الأمينية هو من الأعمال الهامة فى تفهم الكود الجينى. هذا التسلسل تم بوضع علامات مرقمة لوحدة الفوسفات لـ DNA بواسطة Allan Maxxam وآخرين.

هـ - دراسة آلية التفاعل: (Study Of Reaction Mechanism)

حـامض الكربوكـسيليك (Caboxylic Acid) يمكـن أن تحـدث لـه إزالـة لـشق الكربوكـسيل (Decarbxy Lation) إما فـى شـكله الأيونـى نفسه أو مـن خـلال أيـون الكربوكسيل.


(1) $R - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - O - H \xrightarrow{\text{بطيء}} RH + CO_2\uparrow$


(2) $R - COOH \rightleftharpoons R - COO^- + H^+$

$R - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - O^- \xrightarrow{\text{بطيء}} R^- + CO_2\uparrow$

للحـسم بـين تلـك الآليـتين، فإنـه يـتم تعـيين معـدل الثـبات والاسـتقرار (Rate Constants) لإزالـة الكربوكسيليك (Decarboxy Lation) لكل من Rood, Rooh. إذا كـان كـلا من معدل الثبات والاستقرار لكليهما متشابه، عندئذ فإنه يمكن تقرير أن الآلية لإزالـة الكربوكـسيليك تحـدث بواسـطة الآلـية رقـم (٢) ذلـك لأنـه هـنا الرباط D- Q- أو (H – O -) غـير مـساهم فـى خطـوة تعـيين المعـدل. إذا حدثت إزالة، الكربوكسيليك للجـزئ الحـر (H- O-) (RCOOH)، عـندئذ، فـإن اسـتبدال H المجمـوعة COOH بواسطة D سوف يغير معدل الثبات.

و – دراسة الاتزان : (Study Of Equilibrium)

حـدوث وطبـيعة إتزان معين يمكن تحقيقه باستخدام المقتفيات النظائرية (Isotopic Tracers) . فمـثلاً . عـند إذابـة مـادة كحولـية (ROH) فـى (D_2O) ثم استعادتـها، إذا حـدث لـبعض جـزئيات (ROH) تـبادل الـبروتون الهيدروكسيل مع ذرات D. فإن هذا يحقق الاتزان.



$$R-O-H + DOD \rightleftharpoons R-O-D + H-OD$$

عـند إذابـة كلـوريد الأمونـيوم المـرقم (Labeled) الـذى يحوى نظائر جزئيات مميزة ($^{15}NH_4CL$) فـى سـائل NH_3 تم الاسـتعادة بتـبخير المـذيب، فإن ^{15}N يكـون مـوزعا بالتساوى بين كلوريد الأمونيوم وجزئيات NH_3. هذا ممكن فقط إذا تأين سائل NH_3.



$$2NH3 \rightleftharpoons NH_4^+ + NH_2^-$$

فى محلول محتوى على C-14 المرقم (Labeled) CN^- و $[Fe\ (CN)_6]^{-3}$، لا يحدث تـبادل بـين مجمـوعات CN^- المـرقمة والغير مرقمة. هذا يبرهن على أن الستة مجموعات CN^- فـى الأيون المعقد (Complex Ion) ليست غير مستقرة (Not Labile) أى أنها لا تتأين فى المحلول.

ز – دراسة التمثيل الضوئى (Study Of Photo Synthesis)

يمكن توضيح التمثيل الضوئى فى خلايا النبات بالآتى:



$$6O_2 + 6H_2\,O \longrightarrow C_6\,H_{12}\,O_6 + 6O_2$$

عـندما كانـت آلـية التمثـيل الضوئى غير مقيمة جدا، فإن أصل O_2 الناتج كان محل سؤال. حـيث يمكـن أن يأتـى مـن CO_2، H_2O أو مـن كلـيهما. هـذا السؤال تم إقراره باسـتخدام ($H_2^{18}O$). D_2 المـتكون احـتوى فقط ^{18}O وليس ^{16}O. وذلك أثبت أن O_2 جاء مـن جزئ الماء وليس من CO_2. دراسة النظير أظهرت أنه خلال التخليق الضوئى تنشطر ذرة الماء بواسطة الطاقة الضوئية.

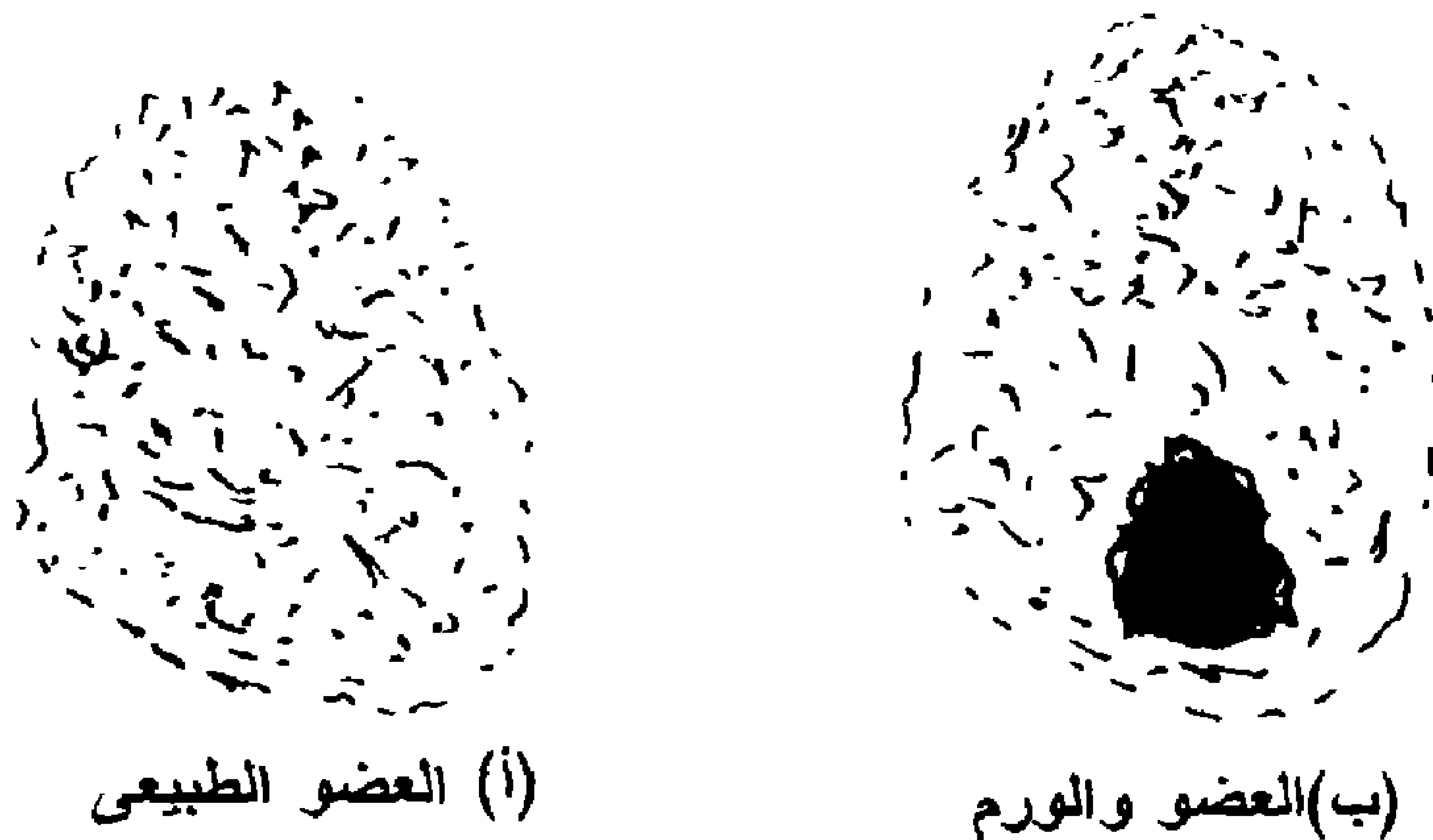


$$2H_2O + hv\,O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^1$$

٢ – النظائر المشعة فى الطب: Radio Isotopes In Medecine

تـستخدم النظائـر المـشعة فـى التـشخيص الطبـى (Diagnosis) وفـى العـلاج جدول (٩/٢). التـصوير هـو مـن التقنـيات الهامـة فـى تحديـد مكان الاعتلال فى عضو جسم

الإنسان. فمثلاً، تشخيص المرض الخبيث في المخ (Tumor) يتم بتصوير المخ للشبة مستقر ، القصير النشاط (Short - Lived) هذا النظير عند استخدامه كدواء لورم المريض، فإنه يتراكم على خلايا الورم شكل (٩/٢) ويبعث إشعاع جاما. هذه الإشعاعات المنبعثة من مكان الورم يتم رسمها من خارج الجسم باستخدام فيلم تصوير. تحميض الفيلم يبين التفاصيل حول الورم.

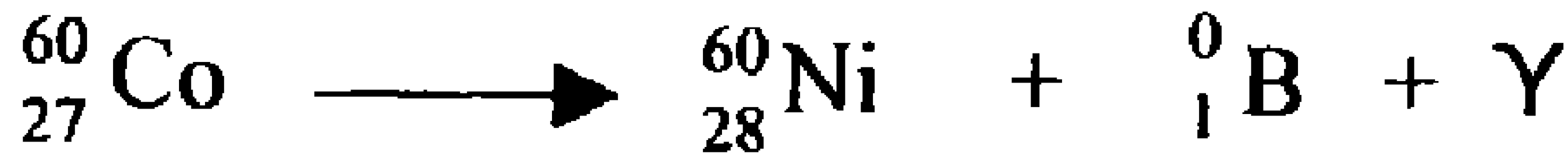


شكل (٩/٢) تصوير عضو بالنظير

جدول (٩/٢) النظائر المستخدمة فى الطب النووى:

النظير المشع	الاستخدام
I - 123	تشخيص الورم الدرقي (Thyroid Tumor)
TC - 99m	تصوير الأعضاء العليلة (الغدة، المخ، الكلى)
TI - 201	تشخيص عدم انتظام وظيفة القلب
P - 32	معالجة سرطان الدم
Na - 24	تشخيص أمراض نظام الدورة الدموية
Co - 60	علاج السرطان
Fe - 59	دراسة الأنيميا
Sr - 90	علاج سرطان القرنية

استخدام الكوبالت لعلاج أنواع معينة من السرطان مبني على قدرة أشعة جاما فى تدمير الخلايا السرطانية. Co - 60 يتحلل مع انبعاث جسيمات بيتا وإشعاعات جاما بنصف عمر 5.27 سنة.



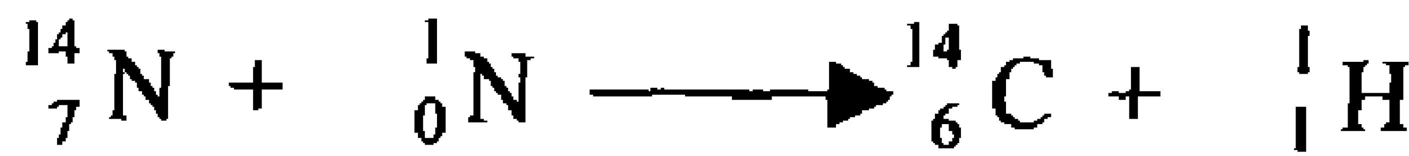
$$^{60}_{27}Co \longrightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{1}B + Y$$

جورج هافيزى الذى قام بالعمل الرائد فى الطب النووى يعتبر أبو التقفى والتتبع الإشعاعى والطب النووى.

أ – التأريخ بالكربون المشع: (radio Carbon Dating)

التأريخ بالكربون المشع هو وسيلة لتقدير عمر المادة القديمة بقياس محتوى المادة القديمة من $^{14}_{6}C$ ومقارنة هذه القيمة مع $^{14}_{6}C$ الموجود فى المادة الحية.

الإشعاعات من النجوم. تسمى الإشعاعات الكونية، وهى تكوين بالجسيمات ذات الطاقة العالية مثل H^{+}. He^{+2}. تلك الجسيمات تصل إلى الغلاف الجوى للأرض وتتفاعل مع النويات المستقرة فى الجزء العلوى من الغلاف الجوى. النيوترون هو واحد من نواتج مثل تلك التفاعلات النووية. النيوترون المنتج يتفاعل مع N^{14} الموجود فى الجو مكونا C^{14}.



$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}N \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

$^{14}_{6}C$ له نشاط بيتا ونصف عمر 5730 سنة.

$^{14}_{6}C$ يتأكسد بالتدريج إلى $^{14}_{6}Co_2$ فى الجو ثم يمتص فى النباتات خلال التمثيل الضوئى. فهو يدخل إلى الحيوانات خلال السلسلة الغذائية. ثم يعود إلى الجو خلال تنفس الحيوانات.

هذه الدورة التى تشمل ^{14}C ظلت تحدث لآلاف السنين – يعتقد انه حدثت حالة إتزان فى الطبيعة بالنسبة لتركيز ^{14}C منذ عدة آلاف من السنين. هذا الاتزان شمل كمية ثابتة من ^{14}C لكل جرام من الكربون فى النظام الإحيائى. هذه الكمية تعادل ١٥,٣ من التحلل والتحطم فى الدقيقة لكل جرام من الكربون. تم الوصول إلى هذه القيمة بعد التقدير الجيد للكربون ^{14}C فى العديد من النظم الحية.

عندما يموت النبات، فإنه يتم إزالته من الاتزان الطبيعى، عندئذ سوف يقل المحتوى من ^{14}C فى المادة الميتة مع الوقت بسبب تحلله. هذا لا يمكن تعويضه نظر لأن

المادة الميتة لا تكون قادرة على التمثيل الضوئى. فمثلاً، قطعة من الخشب ماتت منذ ٢٠٠٠٠ عام سوف تحتوى الآن على ^{14}C أقل من قطعة خشب ماتت منذ ٥٠٠٠ عام. هذه الحقيقة استخدمت فى تقدير عمر المواد القديمة.

التحلل للكربون —14 المشع ^{14}C يتبع المعادلة:

$$2.303 \, Log \frac{No}{Nt} = Kt$$

$$T = \frac{2.305}{K} \quad Log \frac{No}{Nt} \quad = Kt$$

حيث:

No = 15.3 تحللات فى الدقيقة لكل جرام من الكربون.

Nt= عدد التحللات فى الدقيقة لكل جرام من الكربون فى المادة الميتة.

$$K = \text{ثابت التحلل} = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.963}{5730\gamma}$$

t = الزمن (عمر المادة القديمة بالسنين)

لذلك، لتعيين عمر المادة القديمة، فإنه يلزم تعيين محتواها الحالى من C-14، N_t. عندئذ العمر t يمكن تعيينه.

افتراضات تأريخ الكربون المشع Assumptions Of Radio Carbon Dating

هذه التقنية مبنية على التسليم بصحة الفرضيات الآتية:

* تدفق $^{14}_{6}C$ فى المحيط الحيوى (Biosphere) يكون ثابتا خلال الوقت.

المادة تحت الدراسة عندما كانت حية كان لها نفس النشاط مثل الكربون الحى الآن.

تآكل وتحلل ^{14}C فى المادة القديمة ليس له علاقة بالبيئة الكيميائية الحالية.

تطبيقات التأريخ بالكربون المشع: Applications Of Radioactive Dating

التأريخ بالكربون المشع تم استخدامه لتعيين عمر المواد الأثرية والجيولوجية. بعض من نتائج هذا التأريخ موضح فى الجدول التالى. الأعمار الموضحة فى الجدول قد تكون غير دقيقة. ولكن هذه القيم تبين العمر الأقرب قرن.

جدول (٩/٣) عمر المواد القديمة الذى تم تعيينه بالكربون المشع

المادة	العمر بالسنين
رواسب معيّنة في قاع المحيط	2500
هيكل عظمي من أحد القبور	10050
الفحم النباتي من أحد المعابد المصرية القديمة	2800
الخشب من سفينة رومانية	2100
لفيفة من الورق البردي في البحر الميت	1940
هيكل عظام آدمية من معبد (Incan)	500

أعمار المواد القديمة التى تتراوح من ٥٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ سنة يمكن تعيينها بطريقة كافية بالتأريخ بالكربون المشع.

طريقة التأريخ بالكربون المشع تم اقتراحها بواسطة (Willar Frank) (1909-1980) وهو عالم كيمياء أمريكي. تم بعد ذلك التطبيق التجريبى لاقتراحه وتم تعيين أعمار المواد القديمة. وقد نال هذا العالم جائزة نوبل عام ١٩٦٠م عن هذا الاقتراح.

مثال:

عينة من الصخر تم الحصول عليها من سطح القمر وجد أنها تحتوى على 18% K-40، 82% Ar-80، بالنسبة للكتلة. المطلوب تقدير عمر هذا الصخر علمًا بأن K-40 يتحلل إلى Ar-40 عند $t_{1/2}=1.210^9$ y

الحل:

ثابت التحلل للتغير النووى

$$K = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.963}{1.2 \times 10^9 y} = 0.5775 \times 10^{-9} y^{-1}$$

$$K = \frac{2.303}{t} \text{Log} \frac{No}{N}$$

$$0.5775 \times 10^{-9} y = \frac{2.303}{t} \text{Log} \frac{100}{82}$$

$= 3.4 \times 10^8$ years

∴ عمر الصخر = 3.4×10^8 سنة.

عمر الأرض: Age Of The Earth

سلسلة التحلل الطبيعي لليورانيوم تبين أن كل $^{238}_{92}U$ الموجود في الطبيعة سيتحول كلية إلى الرصاص. لذلك، فإن خام اليوارنيوم الموجود طبيعيا يكون مصاحبا له رصاص غير مشع متكونا من اليورانيوم. الصخور على الأرض يفترض أنها تكونت من الصخور المنصهرة (Magma). حيث في ذلك الحين يجب أن يكون تحلل اليورانيوم المشع قد بدأ. لذلك فإنه بتقدير نسبة Pb-206 إلى U-238 بالوزن، فإن عمر الصخر وبالتالى عمر الأرض يمكن تقديره. نصف العمر لليورانيوم $^{238}_{92}U$ هو $(4.49 \times 10^9 y)$ هذا النظير يكون $^{206}_{82}Pb$ خلال سلسلة من الخطوات والتفاعل الكلي هو:



$$^{238}_{92}U \longrightarrow ^{206}_{82}Pb + 8\,^{4}_{2}He + 6\,^{0}_{-1}e$$

طبقا لتلك المعادلة، فإنه لكل 238 جرام من اليورانيوم الذى يتحلل، يجب وجود 206 جرام من الرصاص في عينة الصخر. إذا كانت عينة الصخر، بعد تكوينها مباشرة كانت تحتوى على واحد كيلو جرام من U-238، عندئذ بعد نصف عمر واحد $(4.49 \times 10^9 y)$فإنها سوف تحتوى على ½.كيلوجرام من U-238. كمية الرصاص التي يجب أن تكون قد وجدت من واحد كيلوجرام من U-238.

$$= \frac{206 \times \text{كيلو جرام } ½}{238} = 0.43 \text{ كجرام}$$

لذلك، النسبة:

$$= \frac{\text{وزن } Pb - 206}{\text{وزن } U - 238} = \frac{0.43}{0.50} = 0.83$$

بفرض أن نسبة Pb-206 إلى U-238 في عينة الصخر الآن هى 0.86، فإن عمر الصخر سوف يكون 4.49×10^9 سنة. طبقا للتحليل الواقعي للصخر من أماكن مختلفة في الأرض، هذه النسبة هي حوالى 0.86. ولذلك، فإن عمر الأرض هو 4.5×10^9 سنة.

هذا العمر الافتراضي مبني على فرضية أن المادة الإشعاعية الأوّلية، النواة الثانية النهائية، وكل عناصر سلسلة التحلل تظل في الصخر وأن Pb-206 الموجود في الصخر الآن هو ناتج تحلل U-238.

مثال:

احسب عمر عينة من خام اليورانيوم التى تحتوى على 0.166 جرام من ^{206}Pb، لكل جرام من ^{238}U.

الحل:

الـناتج النهائى للتحلل هو 206Pb من ^{238}U. لقد افترض أن كل ^{206}Pb، قد جاء من تحلل ^{238}U. عندئذ فإن وزن اليورانيوم الذى تحول إلى 0.166 جرام من ^{206}Pb

$$= \frac{238}{206} \times 0.166g$$

= 0.192 جرام

وزن ^{238}U الموجود أصلا كان

$$= (0.192 + 1.00)\ g$$

= 1.192جرام

∴ 1.192 جرام من ^{238}U قد تحلل إلى واحد جرام من ^{238}U

$$\frac{0.693}{t_{1/2}} = K$$

$t_{1/2} = 4.51 \times 10^9$ سنة.

$$K = \frac{0.693}{4.5 \times 10^9} = 1.5 \times 10^{-10}\ y^{-1}$$

$$K = \frac{2.303}{t} \ \text{Log} \frac{[A]_0}{[A]_t}$$

$$T = \frac{2.303}{K} \ \text{Log} \frac{[A]_0}{[A]_t}$$

$$= \frac{2.303}{1.5 \times 10^{-10}} \times 0.07627$$

$$= 1.14 \times 10^9\ y$$

∴ عمر الخام هو 1.14×10^9 سنة.

مثال:

خـام معدنـى وجـد أنـه يحـتوى علـى 1×10^{-6} سم٣ من الهيليوم عند درجة الحرارة والضغط القياسى، 10^{-8} جرام من اليورانيوم فى كل جرام من هذا الخام. احسب عمر هذا الخام (الخام يرتبط بسلسلة اليورانيوم، وأن $t_{½}$ لليورانيوم - 238 هو 4.51×10^{9}سنة.

الحل:

عدد ذرات الهيليوم الموجودة $= \dfrac{6.023 \times 10^{23} \times 1 \times 10^{-6}}{22.40}$

فـى سلـسلة اليورانـيوم (4 n+ 2)، تحلل U-238 يعطى أخيرا Pb-206. فى سلسلة تحلل كل U-238، فإنه تنبعث ثمانية جسيمات ألفا.

جسيمات ألفا تلك تصبح عندئذ ذرات هيليوم باقتناص الإليكترونات فإن عدد ذرات U-238 التى تحللت (n)

$$= \frac{\text{عدد ذرات الهيليوم}}{8}$$

$$= \frac{6.023 \times 10^{23} \times 10^{-6}}{22400 \times 8}$$

$$= 3.361 \times 10^{12}$$

عدد ذرات U-238 التي لم يحدث لها تحلل

$$= \frac{6.023 \times 10^{23} \times 10^{-8}}{238}$$

$$= 25.3 \times 10^{12}$$

$$N = (N + n)^{e\lambda t}$$

λ = ثابت التحلل لـ U-238

$$= \frac{0.693 + y^{-1}}{4.51 \times 10^{9}}$$

t = عمر الخام بالسنين

$$t = \frac{2.303}{\lambda} \text{Log} \frac{N + n}{N}$$

$$= \frac{2.303 \times 4.51 \times 10^9}{0.693} \text{ Log} \left[\frac{28.66 \times 10^{12}}{25.30 \times 10^{12}}\right]$$

$$= 8.125 \times 10^8 \text{ year}$$

تأثير الاشعاع على المادة (Effect Of Radiation On Matter)

كل الأشعة ذات النشاط الإشعاعى الثلاث ∝، B، Y تتفاعل مع المادة. تلك الأشعة تـزيل الإلـيكترونات مـن الـذرات ومن الجزئيات الموجودة فى المادة وتنتج أيونات. ولكن قوتها فى التأين مختلفة. نظام قوة التأين هو كالآتى:

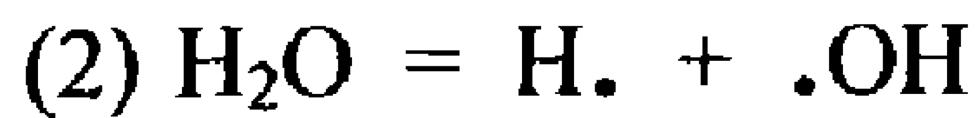
Y < B < ∝

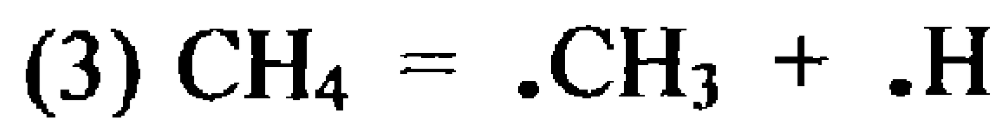
عند سقوط الإشعاع على مادة. فإنه يتكون زوج من الأيونات (Ion Pairs) كل يتكون مـن الـيكترون وأيـون مـوجب. عدد هذه الأزواج من الأيونات التى تتكون هو مقياس لقوة الـتأين للإشـعاع. الإلـيكترونات المنـتجة أولا بالـتفاعل بـين الإشـعاع والمـادة تـسمى الإلـيكترونات الأولـية. تلـك الإلـيكترونات قـد تتفاعل مع المادة وتنتج زيادة فى التأين، أشـعة Y (جامـا) تنـتج أقـل عـدد مـن الإلـيكترونات الأولـية. ولكـن نظـرا لأن تلـك الإليكترونات تنتج تأين تالى. فإن إجمالى التأين الناتج بهذه الأشعة يكون كبيرًا.

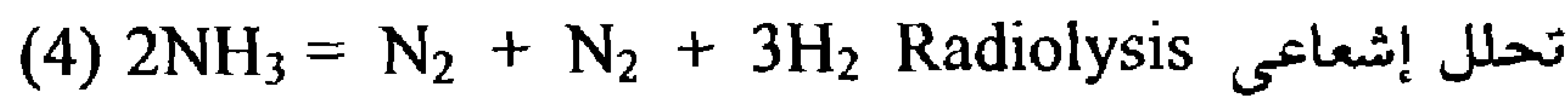
الـتفاعل بـين الإشعاع والمادة لا يتطلب دائما أحداث تأين. عندما تكون طاقة الإشعاع غـير كافـية للتأين. فإنها يمكن أن تثير الاليكترونات فى المادة إلى المستويات الأعلى من الطاقة الذرية أو الطاقة الجزيئية. عندما تعود تلك الإليكترونات إلى حالتها الأصلية، فإن الإشـعاع ينـبعث مـن المـادة. هـذا الإشـعاع يمكـن أن يحدث فى أشعة إكس، فى منطقة الأشعة الفوق بنفسجية أو الأشعة المرئية.

الإشعاعات، خاصة أشعة جاما، يمكن أن تحدث العديد من التفاعلات:


(1) Polymerization (البلمرة) $3C_2H_2 = C_6H_6$


(2) $H_2O = H. + .OH$


(3) $CH_4 = .CH_3 + .H$


(4) $2NH_3 = N_2 + N_2 + 3H_2$ Radiolysis تحلل إشعاعي

٣- الأضرار البيولوجية تسبب الإشعاع:

الإشـعاعات الـنووية تؤثـر علـى الخلايـا فـى النظم البيولوجية. كل الإشعاعات مهما كانـت الجـرعة منخفـضة، تعتـبر خطـيرة، حتـى إذا كان التأثير لا يمكن ملاحظته فى الإنسان السوي. هذا يسمى الفرضية الطولية للتلف بالإشعاع.

(Linear Hypothesis Of Radiation Damage) نظـرية أخـرى تفـترض أن الجـرعات ذات المستوى المنخفض من الإشعاعات حتى حد معين، ليس من المحتمل أن تكـون ضـارة للـنظام البيولوجـى. هـذه النظـرية تـسمى عتـبة الفرضـية (Thre Shold Hypothesis).

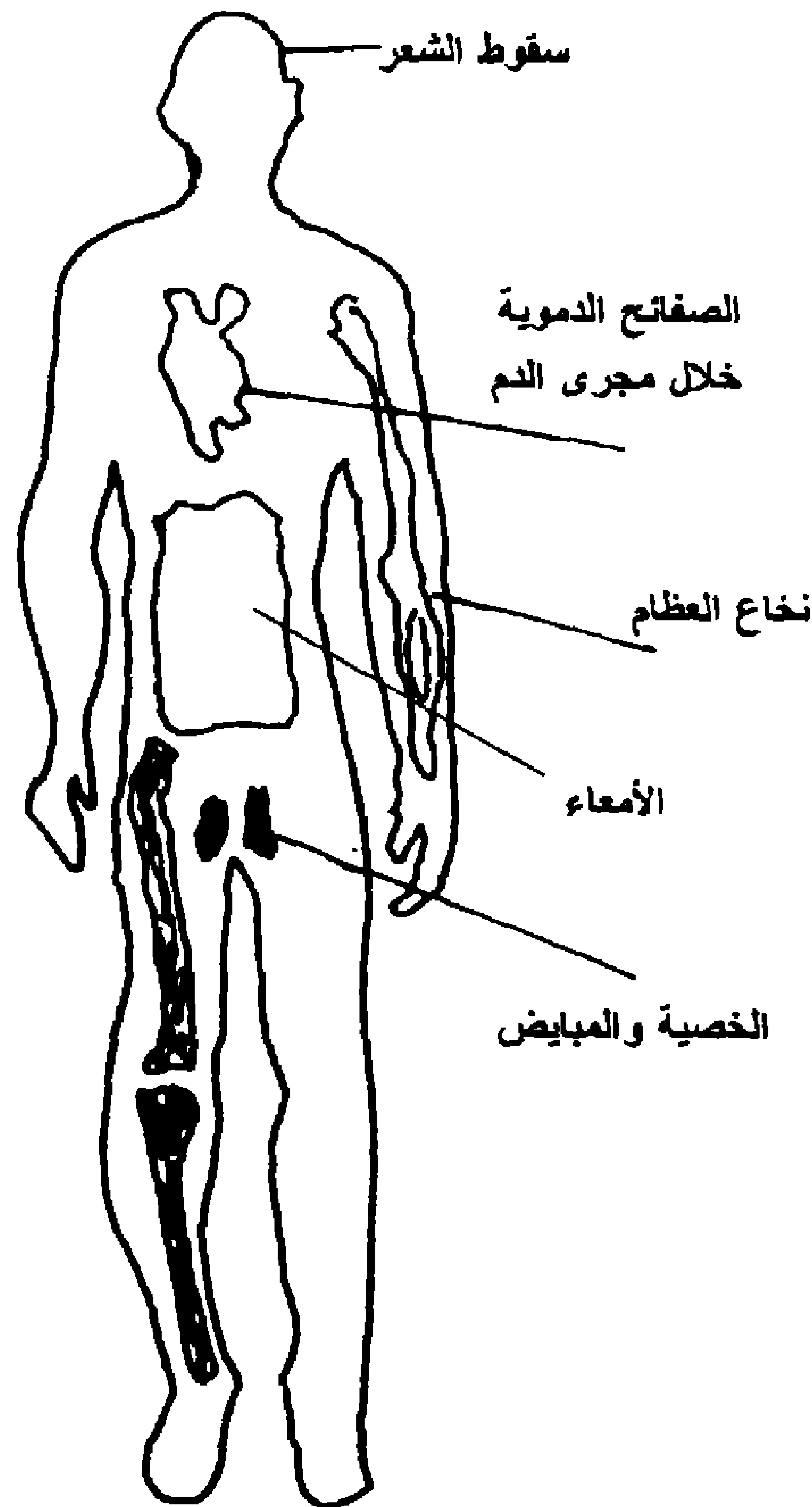
جـرعات الإشـعاع التـى تـستقبل للتـشخيص والعـلاج الطبـى ومـن التليفزيون أو من محطـات الطاقـة الـنووية تكون منخفضة وتأثيراتها يصعب قياسها. مثل هذه الإشعاعات يمكـن أن يكـون لهـا تأثير على المدى الطويل، حيث يشمل التأثير العيوب فى الجينات الوراثـية. نفـس الكمـية التى تستقبل في جرعة واحدة يمكن أن يكون لها تأثير مختلف كلـية مقارنـة بـنفس الجـرعة التـى تم اسـتقبالها خلال فترة، الأولى يمكن أن تكون أكثر ضـررا عـن الثانـية. الـتلف الإشعاعى لجسم الإنسان يتوقف على الجرعة التى يستقبلها الجسم كما فى الجدول التالى.

جدول (٩/٣) تأثير الإشعاع على جسم الإنسان.

الجرعة ريم (Rems)	التأثير المتوقع
صفر – 10	لا تأثير واضح
10 –25	تغيرات مؤقتة في الدم
25 –50	انخفاض في كرات الدم الحمراء والبيضاء
100 –200	القيء، سقوط الشعر
225	الوفاة خلال ٦٠ يوم لحوالي % 5 من الأشخاص المعرضين بدون رعاية صحية
400	الوفاة خلال ٦٠ يوم لحوالي % 50 من الأشخاص المعرضين بدون رعاية صحية

تـأثيرات الإشـعاع على جسم الإنسان هى من نوعين وهما التأثيرات الجسدية المتعلقة بجـدار جـسم الإنـسان (SO MATIC) وتـأثيرات وراثـية (GENETIC). الـتأثيرات

الجسدية تكون للأشخاص الحقيقيين المتعرضين للإشعاع. (الطفح الجلدى، السرطان هى أمثلة للتأثيرات الجسدية). التأثيرات الوراثية لا تؤثر فقط على الشخص المعرض للإشعاع ولكن كذلك على أبنائه وسلالته التالية. التأثيرات الوراثية للإشعاع تنتج من التلف الإشعاعي لخلايا الخصية (السائل المنوى – Sperm) أو المبيض (خلايا البويضة). الإشعاع يسبب تأين فى الخلية، هذا يمكن أن يفتت جديلة الحامض النووى الريبى المنقوص الأكسجين (DNA Strand)، أو تغيير بنائه. الحامض المدمر هذا يصبح مضاعفا. هذا سوف يعطى رسائل جديدة للأجيال المتتالية، وهذا ما يسمى التغير فى الخلايا الوراثية (Mutation Of Cells). مثل هذا التغير فى الخلايا الوراثية يؤدى إلى حدوث اختلال جسدى وعقلي للمواليد. الخلايا سريعة الانقسام فى الجسم هى تلك التى تكون أكثر تأثرا بالإشعاع. الخلايا فى نخاع العظام وفى الدم، وخلايا الغدد التناسلية ع = هى تلك الأسرع فى الانقسام



شكل (٣/٩) الأعضاء البشرية التى تأثرت بالاشعاع

النيوترونات تسبب أسوء مشاكل الإشعاع للإنسان. جسم الإنسان يحتوى على نسبة عالية من الماء التى تمتص النيوترونات بكفاءة عالية.

٤ - التركيز البيولوجى للنظائر المشعة : iological Concentration Of Isotopes

نظائر مشعة معينة تميل إلى تركيز نفسها فى أعضاء معينة فى جسم الإنسان. فمثلاً اليود – 131 (I-131) ينطلق فى الجو من اختيار الانفجار النووى. فهو ينطلق كذلك من محطات الطاقة النووية. هذا النظير يصل إلى السلسلة الغذائية، ولحوم وألبان الحيوانات التى تتغذى على النباتات. وهى تتركز فى الغدة الدرقية وتسبب مشاكل صحية للشخص المعرض.

الأساس الكيميائى للضرر الإشعاعى :

الإشعاعات ∝، B، Y يمكن أن تؤين الجزئيات فى المادة. عند سقوط أى من هذه الإشعاعات على أنسجة الإنسان فإن الجزئيات فى تلك الأنسجة تتأين لتكوين الشق الحر (Free Radical). الجزئيات الفسيولوجية العضوية الهامة فى الجسم يحدث لها تدمير، حيث تفشل فى الأداء الطبيعى للخلايا وتسبب الأمراض. التفاعل بين جزئيات الماء فى الخلايا مع الإشعاع ينتج أيون عالى الأكسيد (Super Oxide Ion) (O_2^-). والشق الحر (Free Radical). هذه المواد عندئذ تهاجم أغشية الخلية والعديد من الجزئيات العضوية فى الخلية، مثل الأنزيمات والحامض النووى المنقوص الأكسجين (DNA).

العلاج الإشعاعى للسرطان يشمل كذلك تدمير الخلايا، الخلايا السرطانية بالإشعاع. الإشعاع الذى يتعرض له المريض يجب أن يكون كافيا لتدمير الخلايا السرطانية بدون تدمير الخلايا الطبيعية بشدة. الإشعاع المستخدم يجب ألا يسبب أى نوع من السرطان للمريض. فى العلاج بالإشعاع ، يجب توجيه حزم من أشعة جاما إلى أقرب ما يمكن من النسيج المسرطن فقط.

٥ – سميه النظائر المشعة :

سميه النظير على الإنسان تتوقف على طبيعه النشاك الإشعاعى ونصف العمر (أو النشاط النوعى) للنظير. البيان فى الجدول (٤/٩) يوضح النظائر السامة، الجدول (٥/٩) يوضح التأثيرات الببيولوجية النسبية.

جدول (٩/٤) سميه النظائر :

السمية	المثال	طبيعة الأخطار الصحية
شديد السمية	Sr - 90	باحث العظام لمدة طويلة
عالي السمية	Ca - 45	باحث العظام
متوسط السمية	Na - 24	غير محدد
قليل السمية	C - 14	لا يسبب أي ضرر لأي عضو حساس

جدول (٩/٥) التأثيرات البيولوجية النسبية :

الإشعاع	التأثير البيولوجي النسبي
أشعة إكس	1
جسيمات -B	1
النيوترونات الحرارية	2.5
جسيمات α، البروتونات والنيوترونات السريعة	10
النويات الثقيلة	20

جدول (٩/٦) البيانات التقريبية عن المصادر الرئيسية لتوفير

الخامات المشعة فى العالم هى كالآتى :

م	الدولة	اليورانيوم	الثوريوم
١	أمريكا	820000	320000
٢	كندا	468000	158000
٣	استراليا	323000	ـــــــ
٤	البرازيل	18500	160000
٥	الهند	52000	320000
٦	كما يوجد اليورانيوم مختلطاً بخام الذهب في مناجم الذهب في بعض الدول الأفريقية وفي أماكن أخرى من العالم لم يُكتشف أو اكتُشف ولكن بكميات صغيرة		

الباب الثاني

تطبيقات العلوم النووية

الفصل العاشر

الوقود النووي

١- مقدمة:

قلب المفاعل النووي الذي يسمى اللب (Core) هو المنطقة التي تحتوى على الوقود النووي. خرج الطاقة من الفاعل وكذلك درجة الكفاءة التي يتم بها إنتاج الطاقة ونقلها إلى المبرد تتوقف إلى حد كبير على مكونات الوقود المستخدم في المفاعل، وشكله الأساسي، والطريقة الهندسية لتوزيع الوقود خلال لب المفاعل، وكمية الوقود المستخدم ونوع مادة التغطية المستخدمة لتغطية الوقود.

الوقود النووي المكون من مادة انشطارية مثل U- 235 أو من PU- 239 أو U-233. عناصر الوقود المحتوية على مجموع من هذه المواد الانشطارية يكون مرغوبا فيه ويمكن عمله. المادة الانشطارية الوحيدة التي توجد في الطبيعة هي U-235، U-233 يتم إنتاجه صناعيا بالإشعاع النيوتروني للثوريوم (Thorium). البلوتوينوم (Plotonium) يتم كذلك تحضيره صناعيا بإشعاع اليورانيوم U-238 الموجود في الطبيعة بالنيوترونات المتطلبات الأساسية للوقود النووي الجيد للاستخدام في مفاعل الطاقة النووي هي:

- ألا يكون عالي التكلفة.
- القدرة على مقاومة التدرج في درجات الحرارة من مركز المفاعل إلى المحيط
- يجب أن يتحمل الدورات الحرارية المتكررة أثناء توقف المفاعل وأثناء التشغيل.
- أن يقاوم التلف بفعل الإشعاع.
- أن يكون مقاوما لعدوانية التآكل بفعل مادة التبريد (Coolant)
- أن يقاوم آلية النقل خلال المفاعل.
- أن يكون خاليا إلى حد ما من الملوثات ذات (Cross-Sectioned) عالي (وتحديدا في المفاعلات الحرارية).
- يجب أن ينقل الحرارة المنتجة بدون أن يكون هو المبرد.

• أن يكون من الممكن استعادة وضعه بطريقة بسيطة وفصل نواتج الانشطار.

الوقود الذي يحقق كل تلك المتطلبات السابق ذكرها ليس من السهل تصنيعه.

أنواع الوقود النووي سيتم وصفها باختصار كالآتي:

١- اليورانيوم (Uranium)

اليورانيوم الطبيعي يحتوى على U-238 بنسبة % 99.3 ، يحتوى على النظير U-235 بنسبة % 0.7. يوجد اليورانيوم في أنواع كثيرة من الخامات المعدنية ولكن أعلى كمية من اليورانيوم تكون في خام يسمى بتشبلند (Pitch blende) أى معدن اليورانينيت الحاوي لليورانيوم والراديوم، يليه الكارنوتايت (Carnotite) ثم الريسكولايت (Rescolite). استخلاص اليورانيوم من الخام يتم باستخدام طرق كيماوية ذلك أن الطرق الطبيعية المفيدة غير قابلة للاستخدام في خامات اليورانيوم. تتكون الطريقة الكيميائية من عمل غسيل (Leaching) يلي ذلك تنقية محلول الغسيل. الطريقة المستخدمة عادة هى الطحن يليه الغسيل في حامض الكبريتيك، ثم التنقية بعملية تبادل أيونى وترسيب بالأمونيا. الترشيح والتجفيف. في عمليات أخرى يستخدم الغسيل في كربونات الصوديوم والتنقية بعملية استخلاص المذيب. المحتوى من اليورانيوم للتركيزات الناتجة عموما يكون مرتفعا (حوالي %70 - %80). في أحد الطرق يتم طحن الخام، واختباره، وتحويله إلى درجة (Slurried) بإضافة كمية مناسبة من الماء ثم طحنه في مطحنة الكور (Ball Mill) قبل الإضافة إلى المذيب بالتقليب والتسخين (المجهز على التوالي) المحتوى على خليط من حامض النيتريك – حامض الكبريتيك. بعد المرور خلال وحدة الإذابة (Dissolver)، ثم التخلص من المواد الغير مذابة بالترشيح بالضغط (Filler Pressing). اليورانيوم الموجود في سائل الترشيح يكون في شكل يورانيل سلفيت (Uranyl Sulphata) بإضافة الأمونيا وفوق أكسيد الهيدروجي (Hydrogen Peroxide) بعد الترشيح والغسيل، يتم إعادة إذابة فوق أكسيد اليروانيوم في حامضى النيتريك يلى ذلك تحويله إلى الكحولى باستخلاصه على مراحل بمذيب. أساس هذه العملية هو أنه في الظروف المناسبة، فإن المركبات المعقدة من اليورانيوم سوف تمر من المحلول المائي إلى المجال العضوى المنفصل (مثل الكحول - Ether) بسرعة أكبر عن الملوثات. بعد فصل المجالين فإن اليورانيوم النقى يمكن غسيله لإزالة الكحول بالماء الزائد وترسيبه بواسطة الأمونيا في شكل (Uranium Diuranate).

الآن تم عمل الإذابة الأولية والترشيح خلال أيام وعلى أساس مستمر وأن مراحل استخلاص فوق الأكسيد والكحول تم استبدالها بعملية الاستخلاص بالمذيب المستمرة المتعددة المراحل.

المخطط الموضح في الشكل (١٤/٢) يوضح إنتاج اليورانيوم المركز (Uranium Concentrete) أى (Magnesium Diuranate Or ammonium Diuranate) من الخام بالغسيل (Leaching) بالحامض والتبادل الأيونى.

يتم تحويل مادة (Ammonium Diuranate) التي تم إنتاجها إلى التترافلورايد (Tetra Flouride) وهى الطريقة الجافة (Dry Way Process) بالتسخين بحيث يتم إزالة الأمونيا والبخار ويبقى ثالث أكسيد اليورانيوم (Trioxide) والذي يتم عندئذ معالجته بالهيدروجين لإنتاج ثاني أكسيد (Dioxide) وأخيرا بواسطة فلوريد الهيدروجين اللا مائي (Anhydrous Hydrogen Flouride) لإعطاء التترا فلوريد والذي يمكن اختزاله إما بالكالسيوم أو بالمغنسيوم لإنتاج كرات صلبة من اليورانيوم.

مسحوق اليورانيوم الذي له أهمية في صناعة أنواع معينة من عناصر الوقود، يمكن أن يصنع بالتفاعل بين ثاني أكسيد اليروانيوم وإما مع المغنسيوم أو مع الكالسيوم. المنتج يكون في شكل قشور (Cack) حيث يمكن منه إنتاج مسحوق اليورانيوم بإذابة مادة الترابط من أكسيد الكالسيوم والمغنسيوم (Lime Magnesia Matrix) في حامض مناسب.

في الحقيقة، فإن ثاني أكسيد اليورانيوم نفسه هو مادة وقود. بعض خواص اليورانيوم موضحة في الجدول التالي:

جدول (١٠/١) خواص اليورانيوم:

الجاذبية النوعية	(20 °م)	19.1
درجة حرارة الانصهار	(°م)	1133
درجة حرارة الغليان	(°م)	3900
الحرارة النوعية	(20 °c) كيلو كالورى/ كجرام	0.028
التوصيل الحرارى	(20 °م) كالورى /سم. °م	0.060
معامل يانج	رطل /البوصة المربعة	30×10^6

اليورانيوم النقي كثيف، صلب (Hard)، ولون المعدن رمادي - أبيض وله لمعان مميز وواضح وذلك عند تحضيره طازجا. وعند تسخينه يصبح معدن ضعيف، ولكن عند التشغيل على البارد فإن قوته تقترب من تلك للصلب.

وهو نشط كيميائيا نسبيا وينطفئ بريقه بسرعة في الهواء مكونا طبقة من الأكسيد ضعيفة الالتصاق. وهذا يتطلب معالجة قطع رقيقة أو صغيرة من اليورانيوم عند درجات الحرارة العالية إما في جو مفرغ (Vacuum) أو في جو خامل.

٢- الثوريوم : (Thrium)

الثوريوم معدن لين فضي ويوجد في خامه المسمى برمل المونازيت (Monazite Sand) ويوجد لدى الهند أكبر احتياطي في العالم من هذا الخام.

الثوريوم ليس مادة انشطارية ولكن يمكن تحويله بالقذف بالنيوترون إلى U-233 الذي هو مادة انشطارية. لذلك فإن الثوريوم يعتبر مادة ثمينة مولدة (Breeder) للإمداد بمادة انشطارية. رمل المونازيت الذي يحتوى على الثوريوم (8 - 10%) يوجد أساسًا في البرازيل والهند ويحتوى على كمية كبيرة من الثوريوم فى شكل أكاسيده مع كميات صغيرة جدا من أكسيد اليورانيوم. يستخلص الثوريوم من خاماته بالهضم بحامض الكبريتيك المركز. يجب الحرص أثناء معالجة خام الثوريوم لإزالة الملوثات ذات قطع امتصاص حراري كبير للنيوترون (Thermal Neut Ron Absorbtion Cross Section) - للحصول على وفره مفضلة في النيوترون أثناء إشعاعية وقود معدن الثوريوم. المونازيت معدن حراري، والذي مع كمية كبيرة من أملاح الفوسفات وأكاسيد عناصر الأتربة النادرة (Rare Earths) الموجودة، تجعل الخطوات الأولية للتصنيع صعبة. التفتت الأولى بحامض الكبريتيك المركز عند درجة الحرارة العالية يكون مطلوبا حيث يليه التخفيف بالماء ثم ترسيب الثوريوم بإضافة قلوي مسحوق الثوريوم للأغراض الميثاليرجيه يتم الحصول عليه بتحويل الثوريوم إلى هيدريد الثوريوم (Thorium Hydride) عند درجة حرارة مرتفعة وفى جو من الهيدروجين حيث يصبح مادة هشة يسهل طحنها إلى شكل المسحوق بالحجم المطلوب. تحت التفريغ وعند درجة الحرارة العالية، مسحوق الهيدريد هذا يتحلل إلى الهيدروجين ومسحوق الثوريوم الذي يمكن دمكه ودمجه أو تلبيده إلى الكثافة النظرية العملية للثوريوم.

معدن الثوريوم النقي يشبه الصلب في مظهره ولكن صلابته أقل نسبيا (في مجال الفضة). وهو معدن شديد المرونة وتحدث له دره عالية من الأكسدة عند درجة الحرارة العالية. بعض الخواص الهامة للثوريوم موضحة في الجدول التالي:

جدول خواص الثوريوم

الجاذبية النوعية	(20 °c)	11.71
نقطة الانصهار	(°م)	1600
نقطة الغليان	(°م)	3000
الحرارة النوعية	(20 °c) كيلو كالورى / كجرام. °م	0.028
التوصيل الحرارى	(20 °c كالورى / ثانية. سم. °م)	0.09

الخواص الميكانيكية للثوريوم تتأثر بدرجة كبيرة بالملوثات مثل الكربون..الخ. الثوريوم مركب بين معدني (Intermetallic Compound) مع معظم المعادن. مقاومة الثوريوم للتآكل ضعيفة جدا في الهواء وفى الماء المغلى. الأكسدة في الهواء سريعة إلى حد ما، عادة عند درجة الحرارة المنخفضة. لزيادة مقاومته للتآكل في الماء المغلي فإن الثوريوم يتم جعله سبيكة (Is Alloyed) إما مع الزركونيوم أو مع (Sodium Potassium Lithium)

٢ - البلوتونيوم: (Plotonium)

البلوتونيوم معدن ينتج صناعيا بامتصاص النيوترونات في U-238. يتم استعادته من عادم وقود المفاعل الحراري. هذا الوقود العادم (المحروق) يتم إرساله إلى وحدة المعالجة الكيميائية حيث يتم فصل نواتج الانشطار من اليورانيوم الذي تم إشعاعه (Irradiated) ثم يتم فصل البلوتونيوم من اليورانيوم المستنفذ (Depleted) اليورانيوم المستنفذ في U-235 يمكن المحافظة عليه للاستخدام في مفاعلات المولد (Breeder Reactors) وأن كان بعضه يمكن أن يتم التغذية بها ثانيا مع البلوتونيوم. البلوتونيوم يمكن استخدامه مع اليورانيوم المستنفذ لإنتاج المكافئ من اليورانيوم الطبيعي أو أن يستخدم مع اليورانيوم الطبيعي لتكوين الوقود المخصب (Enriched). فى حالة الرغبة، فإن جزء فقط من البلوتونيوم يمكن استخدامه بهذه الطرق والباقي وقود لمفاعلات حرق البلوتونيوم.

في حالة عدم إمكان توفير البلوتونيوم من بعض المصادر الأخرى فإن كل وقود اليورانيوم يتم استخدامه لبدء المفاعل، ولكن بمجرد تشغيله لفترة طويلة كافية لإنتاج

بعـض البلوتونـيوم، فإنـه يمكن تدوير البلوتونيوم. بعد وقت يتم الوصول إلى حالة الاتزان التي فيها كمية البلوتونيوم المحروقة في وقت معين تساوى الكمية المتكونة.

بعض الخواص الهامة للبلوتونيوم موضحة في الجدول (١٠/٢)

الجاذبية النوعية	19.72 – 19
نقطة الانصهار	640 °c
نقطة الغليان	3232 °c
معامل التمدد	55×10^{-6} / °c
التوصيل الحراري	0.02 calorie / cm. Soc. °c

الاخـتلافات في الكـثافة، المقاومـة الكهـربية والـتمدد مع التغيرات البسيطة في درجة الحـرارة تجعـل مـن إعـداد وتصنيع البلوتونيوم من العمليات الصعبة. هذا بجانب الحذر الشديد اللازم عند تداول البلوتونيوم نظرا لسميته الشديدة وكذلك نشاطه الكيميائي.

الوقود النووي الخزفي: (Ceramic Nuclear Fuels)

الوقـود الصلب له ميزة جيدة لاقتصاد النيوترون، وتوصيل حراري جيد ومقاومة عالية للـصدمات الحـرارية. ولكـن سلبيات الوقود الصلب هى درجة حرارة الانصهار المنخفضة وضـعف القـوة عـند درجـات الحـرارة العالية، والتي تسمح بالعمل عند درجات الحرارة العالـية الـتي تحـدث في مفـاعلات الطاقة. مواد الوقود الخزفية توفر مميزات كثيرة تزيد عـن الوقـود المعدنـي الصلب بالنسبة للقوة، التمدد الحراري، التوصيل الحراري، مقاومة الـتآكل والـتلف بالإشـعاع ونقطـة الانـصهار. هذه النوعيات تجعله قابلا للاستخدام عند درجـة الحـرارة العالـية كمـا هو الحال في مفاعلات الطاقة ذات الخرج العالي. التوصيل الحـراري للوقـود الخـزفي جـيد ومقاومـة الـتآكل تـتفوق على تلك لمعدن اليورانيوم. ولكن العيب الرئيسي لوقود السيراميك هو أنه يحتوى على يورانيوم قليل لوحدة الحجم مقارنة بالمعـدن النقـي ولا يـتحمل صدمات درجات الحرارة الشديدة المحتمل حدوثها أثناء بدء التشغيل أو التوقف للمفاعلات. هذا بجانب إلى أنها هشة عند درجة حرارة الغرفة والتي تعـيق تـشغيلها ميكانيكـيا باسـتثناء الطحـن. Uo_2 مـادة الوقود المستخدمة أحيانا يمكن تلبـيدها بحـرق كـتلة مـن مسحوق مجموع من المكونات الخزفية والمعدنية والمعروف باسم (Cermets) والـتي أكثـر إفـادة كمـادة وقـود. بسبب المكون المعدني فإن السيرميت أكثر

مقاومة لصدمة الحرارة عن المواد الخزفية وكذلك تتحسن خاصية التوصيل الحراري بمواد الملئ المعدنية بين الجسيمات الخزفية. هذا بالإضافة إلا أنها غير معرضة لتلف الإشعاع.

الوقود النووي السائل: (Liquid Nuclear Fuels)

كثيرا من المفاعلات النووية مصممه لاستخدام الوقود السائل ذلك لأن استمرار التفاعل المتسلسل يعتمد على وجود كتلة حرجة من المواد الانشطارية خلال حجم معين وليس على ما إذا كانت مادة الانشطار في الشكل الصلب أو السائل.

من بين الطرق المتعددة لاستخدام المادة الانشطارية في شكل سائل فإن أبسط طريقة هى بإذابة ملح مادة انشطارية في الماء بالكمية التي يتم بها الحصول على الكتلة الحرجة. كمثال، فقد استخدم (Uranyl Sulphate)، (Uranyl Nitrate) المخصب المذاب في الماء لوقود في مفاعلات الطاقة الصغيرة. في هذه الحالة يعمل الهيدروجين كمهدئ (Moderator) بينما يعمل الماء كمبرد لإزالة الحرارة من المفاعل. مفاعلات غلاية الماء (Water Boilers) التي تستخدم أملاح اليورانيوم المذابة في الماء كوقود، يتم تبريدها بتحويل الماء إلى بخار والذي يتكثف في الخارج ويعاد تدويره إلى لب المفاعل. النوع الثاني من الوقود السائل المناسب للمفاعلات ذات خرج الطاقة العالي يمكن أن تستخدم اليورانيوم المنصهر كوقود. ولكن يتطلب درجة حرارة تشغيل لتكون أعلى من درجة حرارة انصهار اليورانيوم ($1133\ ^0c$) التي عندها تواجه مواد الإنشاء مشاكل كبيرة عند الالتصاق باليورانيوم المنصهر، ولذلك، فإن مفاعل اليورانيوم المنصهر لم يؤخذ في الاعتبار بطريقة جادة ولكن، المفاعل المصمم (Brookhaven Laboratory) في الولايات المتحدة والى يسمى مفاعل وقود المعدن السائل يستخدم معدن اليورانيوم مع البزمت (Bismuth) في الحالة المنصهرة والذي له درجة حرارة انصهار منخفضة مقارنة باليورانيوم النقي. أحد ظواهر ذلك المفاعل هو الإزالة المستمرة لنواتج الانشطار من وقود المعدن السائل بمعالجته بملح منصهر. لقد وجد أن عدا كبيرا من نواتج الانشطار الغير مرغوب فيها لها ميل كبير للتفاعل الكيميائي مع الأملاح المنصهرة عن الوقود المنصهر، ولذلك فينقل إلى خليط الملح المنصهر. الوقود السائل يمكن عندئذ تدويره وعودته ثانيا إلى المفاعل. النوع الثالث من الوقود السائل يمكن أن يستخدم على مركب ذو انصهار منخفض من مادة قابلة للانشطار التي يمكن استخدامها بطريقة تشبه لوقود مفاعل وقود المعدن السائل الأمريكي السابق الإشارة إليه.

جدول يبين رواسب اليورانيوم والثوريوم في دول العالم.

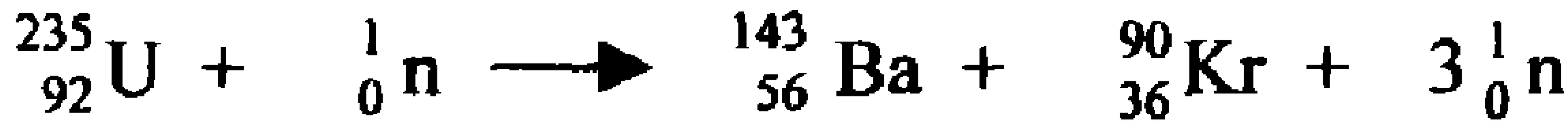
الدولة	الرواسب بالطن من اليورانيوم	الرواسب بالطن من الثوريوم
أمريكا	820000	320000
كندا	468000	158000
استراليا	323000	160000
البرازيل	18500	———
الهند	52000	320000

الفصل الحادى عشر

المفاعلات النووية (Nuclear Reactors)

١- مقدمة:

المفاعلات النووية هى تلك الاحتواءات (Containments) التى تتم فيها التفاعلات النووية، كما فى حالة الفرن حيث تنطلق الحرارة بحرق الفحم، أما فى المفاعل النووى فإن الوقود يتحلل لإطلاق كمية ضخمة من الحرارة. عملية التحلل للوقود النووى هذه تعرف بالانشطار (Fission). الوقود النووى المستخدم فى المفاعلات النووية هو اليورانيوم الطبيعى الذى يتكون من 0.71% U-235، الباقى U-238 ، U-233 والذى يحدث له تفاعل انشطار بسهولة. عند قذف (تصادم) نيوترون واحد مع ذرة U-235 فإنها تنقسم بشدة إلى أجزاء المصاحبة لعدد اثنين أو ثلاث نيوترونات زائدة — وبذلك تنطلق كمية كبيرة من الطاقة.



$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{143}_{56}Ba + {}^{90}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n$$

تلك النيوترونات المنبعثة قادرة على تنشيط الانشطار لنويات أكثر من U-235 . لذلك فإنه يمكن حدوث تفاعل مستمر متسلسل الذى تكون فيه انبعاثات الطاقة كبيرة بدرجة مهولة.

المسار المستقبلى للتفاعل النووى بالنسبة لإزالة مصادر النيوترون يتوقف على معامل المضاعفة K (Multipli Cation Factor) الذى يعرف بالآتى:

$$K = \frac{\text{عدد النيوترونات المنتجة في كل انشطار}}{\text{عدد النيوترونات المنتجة للانشطار}}$$

عندما تكون I > K، فإن عدد النيوترونات المنتجه يقل مع الوقت والتفاعل المتسلسل لا يمكن استمراره. وعندما تكون 1 = K، فإن عدد النيوترونات يظل ثابتا والتسلسل المحكم المنطلق يستمر بمعدل ثابت كما فى المفاعلات النووية والطاقة المنطلقة يمكن أن تستخدم فى الأغراض السلمية. عندما تكون I < K، فإن عدد النيوترونات ومعدل الانشطار يزداد سريعا ويحدث تفاعل غير مسيطر عليه بما يؤدى إلى الانفجار كما فى حالة القنبلة النووية.

النيوترونات المنبعثة الثنائية الناتجة بالانشطار لا يمكنها إنتاج انشطار تالى إذا هربت أو احتجزت بالملوثات ذات مقطع ضخم (Large Cross Section) مثل U-238 الموجود فى اليورانيوم الطبيعى ويتحول إلى البلوتونيوم، أى مادة انشطارية أخرى.



$$^{238}_{92}U + \ ^{1}_{0}N + \longrightarrow \ ^{239}_{92}U \xrightarrow{B} \ ^{239}_{93}Np \xrightarrow{B} \ ^{239}_{94}Pu$$

التفاعلات يتم التحكم فيها باستخدام ماص للنيوترونات مثل الكادميوم أو البورون. فى حالة ارتفاع معدل تدفق النيوترونات فى قضبان التحكم يتم دفعها أكثر فى المفاعل الامتصاص النيوترونات الزائدة، بينما فى حالة انخفاض معدل تدفق النيوترونات فإنه يتم سحب قضبان التحكم إلى خارج المفاعل. النيوترونات الثانية (Secondary) يتم إبطاءها بالمهدئات (Moderators) مثل الجرانيت، الماء الثقيل .. الخ.

من بين كل ٢ - ٣ نيوترونات التى تنطلق فى كل انشطار، فإنه لا يقل عن واحد يجب أن ينجح فى الحصول على انشطار آخر فى حالة الإصرار على ومداومة التفاعل المتسلسل. يوجد سببين رئيسيين لماذا يكون ذلك صعبا للتنفيذ باليورانيوم المخصب قليلا أو الطبيعى. بدلا من التصادم مع ذرات اليورانيوم U-235، فإن النيوترونات يمكن أن تهرب وتصطدم وتمتص بأحد ذات U-238. رغم أن النيوترون السريع قد يسبب أحيانا انشطار U-238. فإن التفاعل المتسلسل فى اليورانيوم الطبيعى يكون مستحيلا. ولكن وجد أنه فى حالة إبطاء النيوترونات فإنه يوجد إحتمال كبير لتسبب الانشطار لـ U-235. وعندئذ يمكن استمرار التفاعل المتسلسل.

المهدئ إما أن يختلط مع اليورانيوم، أو إذا كان اليورانيوم فى شكل منشأ شبكي (Lattice Work) من عناصر وقود صلب، فإن المهدئ يشغل معظم الحيِّز المتاح. المهدئ يجب أن يكون له صفة الامتصاص الضعيف لنيوترونات، حيث عند تصادم النيوترونات مع ذرته فإنهم لا يفقدوا. ثانيا ذرات المهدئ يجب أن تكون صغيرة ما أمكن بحيث أن النيوترونات سريعة الحركة خلال عدة تصادمات الكرات، سوف تفقد غالبا معظم سرعتها. النيوترونات تتحرك عندئذ بطاقة صغيرة تقريبا متوازية مع متوسط الطاقة الحركية للجزئيات للمهدئ، وهذه تسمى النيوترونات الحرارية ذات طاقة أقل من (0.025 ev). أى (٢٢٠٠ متر فى الثانية). لذلك يحدث التفاعل المتسلسل إذا كانت

النيوترونات المنطلقة من أى انشطار فردى ثبت فجأة بين ذرات المهدئ وترتد بدون حدوث هروب أو بدون حدوث امتصاص وتبطأ بما يكفى لتصادم واحدة مع ذرة أخرى من U-235 ويسبب لها حدوث الانشطار. عندما يكون عدد النيوترونات المتحركة بهذه الطريقة فى المفاعل ثابت من وحدة توليد الانشطار إلى التالية، فإن المفاعل يقال له أنه حرج (Critical) إذا حدث فى المتوسط فَقْد للنيوترونات فإن النظام يكون دون الحرج والتفاعل المتسلسل لا يمكنه القدرة على الاستمرار . إذا كانت كثافة النيوترونات تزداد فإن النظام يسمى فائق الحرج ومعدل انطلاق الطاقة سوف يزداد. التحكم فى المفاعل يتم بإدخال مادة التى تمتص النيوترونات بسرعة مثل الكادسيوم أو البورون. هذه يمكن أن تكون فى شكل قضبان تحكم التى يمكن سحبها بما يكفى ليصبح التفاعل حرجا (Critical).

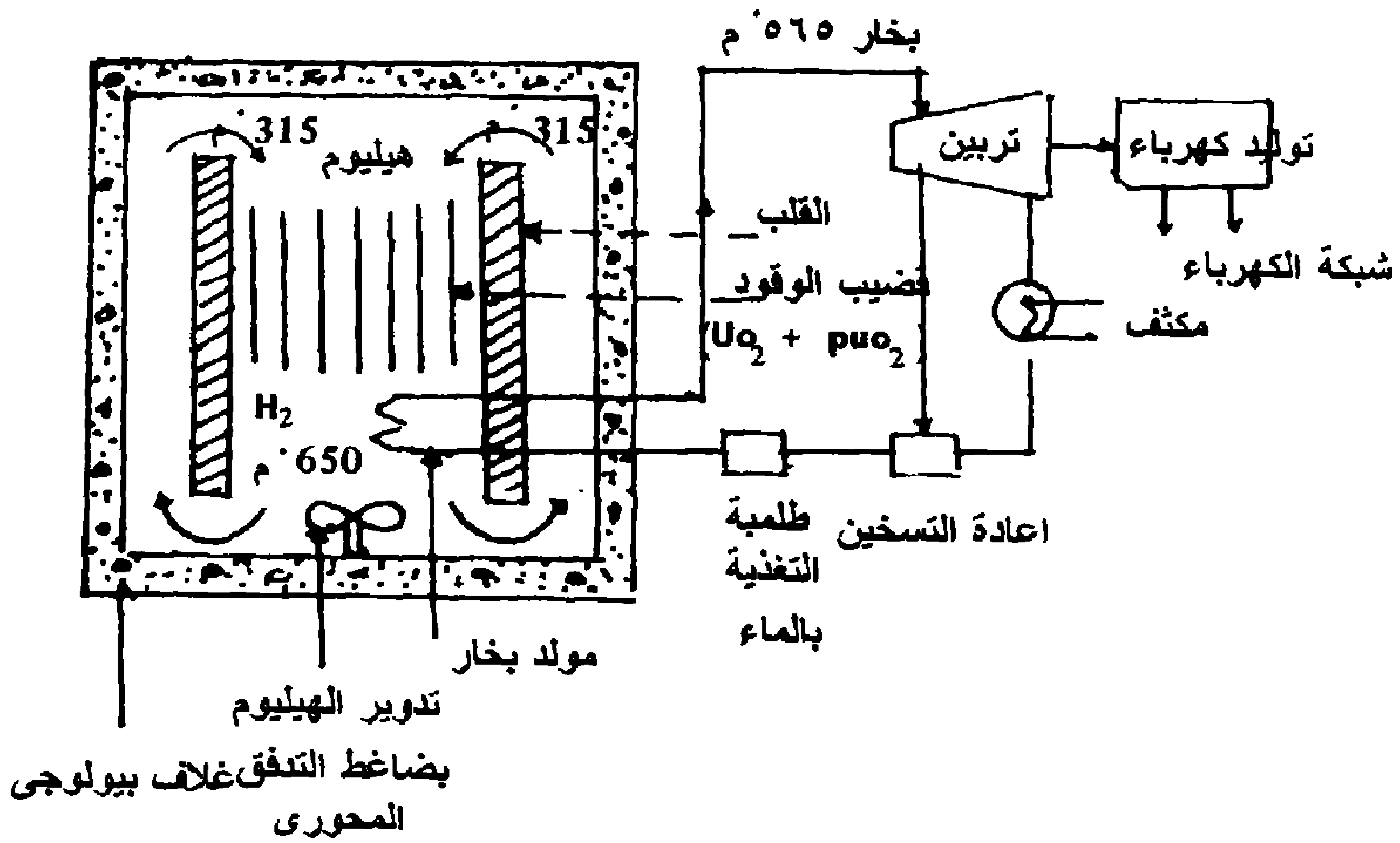
نواتج الانشطار فى مفاعل الطاقة مزعجة. توجد ٤٠ طريقة مختلفة التى فيها يمكن أن ينشطر U-235، بحيث مع تقدم التفاعل المتسلسل، فإن العديد من العناصر تراكم فى اليورانيوم المتبقى، معظمهم شديد الإشعاعية - كثيرا منهم ماص قوى للنيوترونات . للحماية ضد الإشعاع، فإن المفاعل يجب إحاطته بطبقة غطاء كثيفة من الخرسانة الثقيلة.

الذرات المتوفرة من U-238 يمكن أن تصبح انشطارية بسهولة بتحويلها إلى البلوتونيوم. هذا التحول يمكن أن يحدث خلال فترة زمنية من عدة أيام. المفاعل النووى يمكن فى نفس الوقت أن ينتج مادة انشطارية خام. فى الحقيقة، عندما يكون من الممكن للنيترون الثانى من كل انشطار أن يجد طريقة لذرة من U-238 وتحويلها إلى البلوتونيوم، بذا تجديد الإمداد بالمادة الانشطارية بنفس المعدل الذى به تستهلك، فإن الطاقة المتاحة من اليورانيوم تتضاعف نظريا بمعامل ١٤٠. المفاعل الذى يشمل ذلك يسمى المولد (Breeder)، U-232 يسمى مادة خصبة (Fertile).

الثوريوم 232 الموجود فى الطبيعة هو كذلك مادة خصبة ذلك لأن النيوترون الممتص فى Th 232 يعطى U-232، سهل الانشطار كذلك.

لذلك المفاعل المحتوى على ما يكفى من U-235 لمساعدة التفاعل المتسلسل و Th232 كمادة خصبة يمكن كذلك أن يصبح مولد.

باختصار، لذلك فإن المفاعل يتكون من مادة انشطارية ومهدئ، قضبا تحكم، غلاف ومادة خصبة. بالإضافة، إلى أنه يجب وجود مواد الإنشاء والآليات لإزالة الحرارة التى تنتج. المبردات يمكن أن تكون الهواء، co_2، ماء، صوديوم منصهر.. الخ.



شكل (١١/١) مفاعل التوليد السريع بالتبريد بالغاز

٢- عناصر المفاعل النووى: Elements Of Nuclear Reactor

الأجزاء المختلفة للمفاعل هى:

- لب الوقود Core OF Fuel
- مهدئ النيترون Moderator
- وسائل تنظيم عدد النيوترونات الحرة وبذا التحكم فى معدل الانشطار.
- وسائل إزالة الحرارة المنتجة.
- غلاف ضد الإشعاع.

١ - الوقود:

المقوم الأساسى لوقود المفاعل هو المادة الانشطارية. العنصر الوحيد الموجود في الطبيعية الذى يحدث لـه انشطار سريع مع التصادم بالنيوترونات هو اليورانيوم - ٢٣٥، والذى يكون حوالى ٠,٧١٪ من اليورانيوم الطبيعى. معظم باقى العناصر يوجد فى شكل يورانيوم - ٢٣٨، والذى يسمى المادة الخصبة ذلك لأنه يمكن تحويله إلى مادة قابلة للانشطار. والتى تسمى البلوتونيوم - ٢٣٩.

وقود المفاعل عادة يحتوى على خليط من مواد انشطارية ومواد خصبة (Fertile). فى أثناء عمل المفاعل ومع إشعاع الوقود فإن ذرات المادة الانشطارية تستنفذ، وفى نفس الوقت تتكون مواد انشطارية جديدة من المادة الخصبة. نسبة الذرات الانشطارية المستنفذة إلى الذرات الانشطارية الجديدة المتكونة يتوقف على تصميم المفاعل. من الممكن حمل زيادة قليلة فى مقدار المادة الانشطارية فيما يسمى المفاعل المولد (Breeder Reactor) ولكن معظم المفاعلات الحالية تعمل بالفقد النهائى (Net Loss) للمادة الانشطارية.

فى المفاعل، عندما تكون المادة الانشطارية كافية لتنشيط التفاعل المتسلسل، فإن المفاعل يقال أنه حرج والكتلة المقابلة تسمى الكتلة الحرجة (Critical Mass). بعض المفاعلات، تستخدم الوقود السائل كمحلول مائى لليورانيوم المخصب (Enriched). ولكن غالبا، يكون الوقود صلب إما يورانيوم معدنى أو خزفى مثل كربيد اليورانيوم (Uranium Carbide). الوقود الصلب، يتم تصنيعه فى أشكال مختلفة صغيرة من الألواح أو من الكرات.. الخ، والتى عادة تتجمع او تنعقد مع بعضها البعض فى مجموعات تسمى عناصر الوقود (Fule Elements). لب المفاعل قد يحتوى على من العشرات حتى المئات من عناصر الوقود هذه المعلقة فى إطار هندسى ثابت بواسطة ألواح شبكة القضبان المتصالبة (Grid Plates): كل عناصر الوقود الصلب تشمل ما يعرف بغطاء الوقود (Fuel Cladding). غطاء الوقود هذا يأخذ شكل طبقة التغطية للحماية أو الغلاف الذى يمنع الالتصاق المباشر بين مادة الوقود ومبرد المفاعل (Coolant) وكذلك يعمل كجزء من بناء عنصر الوقود. المستخدم عادة كغلاف أو طبقة تغطية هو سبائك الصلب المقاوم والزركونيوم فى مفاعل الطاقة، المستخدم فى مفاعل الأبحاث عموما هو الألومينيوم.

٢- المهدئ: Moderator

النيوترونات المنطلقة في التفاعل المتسلسل تسير أولا بسرعة عالية جدا. وهي تفقد السرعة عند تصادمها اللدن مع المادة المحيطة في اللب. هذا الانخفاض في السرعة مطلوبا ذلك لأن النيوترونات البطيئة أكثر تأثيرا في إحداث الانشطار عن النيوترونات السريعة. في حالة حدوث التصادمات البطيئة جداً. ولكن في حالة حدوث تصادمات كثيرة جدا، قد يحدث أن يغامر نيوترون بالتصادم مع ذرة التي تمتصه بدون إنتاج (نواتج الانشطار تمتص النيوترونات سريعا). لذلك فإنه يكون من المهم خفض سرعة النيوترونات ببعض الوسائل. يتم ذلك بالمهدئ .

النيوترونات لها كتلة هي تقريبا تعادل تلك لذرة الهيدروجين، لذلك فإن المواد المحتوية على تركيز من الهيدروجين أو ذرات خفيفة الوزن أخرى تكون مؤثرة جدا كمهدئات . المواد المستخدمة كمهدئات تشمل الماء العادى، الماء الثقيل (D_2o)، الجرافيت، البريليوم، ومواد عضوية معينة.

كما هو واضح فإن المهدئ يجب أن يتم توزيعه جيدا خلال منطقة الوقود. في بعض المفاعلات يتم ذلك بوجود فاصل بين عناصر الوقود بحيث يوجد المهدئ بينها، وفي حالات أخرى يتم ذلك بالخلط الجيد للمهدئ مع الوقود.

٣ - نظام التحكم: (Control system)

معظم المفاعلات النووية يتم التحكم فيها بتنظيم عدد النيوترونات في اللب. يتم ذلك بالمواد التي تمتص النيوترونات أي نشافات النيوترونات (Neutrons Blotters). مثل لنشافات الإليكترون الكادميون، والبورون، الهافتيام (Hafnium) عادة تلك المواد يتم إدخالها في المفاعل بواسطة قضبان قابلة للسيطرة والتحكم. النموذجي، يتم تجهيز المفاعل بمجموعة واحدة من قضبان التحكم (التي تم الإشارة إليها كقضبان تنظيم) لأغراض التحكم الروتينية، ومجموعة معاونة (يشار إليها بقضبان الأمان) لتسمح بسرعة التوقف في حالة الطوارئ.

كل ذرة من الوقود التي يحدث لها انشطار تطلق من ٢ - ٣ نيوترونات. النيوترونات الحرة تظل لمدة قصيرة جدا حوالى ١/ ١٠٠٠٠ من الثانية أو الثانية بين وقت إحداثها

لانشطار آخر أو أن يتم امتصاصها. على هذا الأساس إذا حدث زيادة طفيفة فى أعداد النيوترونات من تولد نيوترون إلى آخر، فإن معدل الانشطار يمكن بسهولة أن يتضاعف لعدة مئات كل ثانية. أثناء الانشطار بعض النيوترونات لا تنطلق فى الحال. يخفض عدد النيوترونات إلى الحد حيث النيوترونات اللازمة لاستمرار تفاعل الانشطار المتسلسل، فإن المعدل العادى يزداد فقط بمعدل ١ - ٢٪ فى الثانية. وهذا يكفى بالتدريج ليظل جاهزا للسيطرة.

عند تحميل الوقود فى المفاعل، يكون عددا من قضبان التنظيم والتحكم " فى مكانها". بعد تمام التحميل يتم وضع المفاعل فى التشغيل بسحب قضبان الأمان (Safety Rods) والسحب الجزئى لقضبان التنظيم (Regulating Rods) . الخطوة الأخيرة تتم بالتدرج وذلك طبقا لإشارات (Signals) من أجهزة العد للنيوترونات المستخدمة فى رصد معدل الانشطار. بمجرد وصول المفاعل إلى الحالة الحرجة، أى أن التفاعل المتسلسل أصبح ذاتى الاستمرار، فإن تحريك قضبان التنظيم تصبح مسألة ضبط لاستمرار حالة التشغيل المستقرة. إذا كان مستوى طاقة التشغيل (أى معدل المفاعل) يلزم زيادته، فإنه يتم سحب إضافى لقضبان التحكم (Control Rods).

٤ - نظام إزالة الحرارة: Heat Removal syatem .

إطار انطلاق الطاقة فى عملية الانشطار هو كالآتى:-

الطاقة الحركية لنواتج الانشطار	٨٤٪
الطاقة الحركية للنيوترونات	٢,٥٪
الانطلاق الفورى لأشعة جاما (Y)	٢,٥٪
التحلل الإشعاعى التدريجى لنواتج الانشطار	١١٪

مع تصادم نواتج الانشطار (والنيوترون) مع المادة المحيطة فإن طاقتها الحركية تتحول إلى حرارة إلى حد ما. معظم الحرارة يتم توليدها فى اللب (Core).

إذا كان المفاعل يعمل عند خرج حرارة صفر (قليل فقط من عدد الوات)، فإن كمية الحرارة الصغيرة المنطلقة سوف تتشتت ذاتيا عندئذ لا توجد حاجة لنظام تبريد. ولكن معظم المفاعلات تعمل عند مستويات طاقة يمكن تقديرها، [خرج حرارة كيلوات أو ميجاوات] ولذلك يلزم تبريده لمنع حدوث السخونة الزائدة وانصهار اللب. فى تطبيقات

الطاقة أو الدفع (Propulsion)، فإن الحرارة التى تحمل بعيدا هى المنتج الرئيسى للمفاعل.

أحد الظواهر الخاصة للمفاعل النووى هو قدرته على العمل واقعيا عند مستوى الطاقة؟، حيث عامل الحدية هو المعدل الذى يمكن به نظام التبريد حمل الحرارة بعيدا. بعض المفاعلات تعتمد على الحمل الحراري الطبيعى (Natural Convection) للمبرد، ولكن معظمهم مجهز بنظام التدوير بقوة. تستخدم مواد تبريد مختلفة، بما فيها الغازات مثل الهواء، الهيليوم، ثانى أكسيد الكربون، السوائل مثل الماء العادى، الماء الثقيل، مركبات عضوية معينة والمعادن السائلة مثل الصوديوم. فى بعض المفاعلات، يعمل المبرد كمهدئ كذلك. ولكن فى مفاعلات أخرى يكون كلا من المهدئ والمبرد مواد مستقلة.

المفاعلات التى تعمل فى الأبحاث تعمل عموما عند درجة حرارة منخفضة (أقل من ١٠٠°م). على الجانب الآخر المفاعلات المنتجة للطاقة تعمل عند درجة حرارة مرتفعة نسبيا (حوالي - ٢٦٠°م).

٥ - حجب الإشعاع: (Radiation shield)

الجزء من طاقة الانشطار الذى لا يظهر مباشرة كحرارة، فإنه يظهر كإشعاع ذرى (Atomic Radiation). لذلك لحماية العاملين من إشعاع المفاعل النووى فإنه يلزم حجبه جيدا. فى المفاعل يوجد نوعين من الحجب وهما الحرارى والبيولوجى.

الحجب الحرارى يستخدم فى المفاعلات ذات الطاقة العالية لحماية حوائط المفاعل من التلف الإشعاعي. وهو يصنع عادة من الصلب. الحجب البيولوجى يوجد خارجيا ويأخذ شكل منشأ من الخرسانة بسمك عدة أقدام محيطا بالمفاعل.

تقسيم المفاعلات النووية:

تنقسم المفاعلات النووية طبقا لنظام التفاعل المتسلسل، الاستخدام، المبردات، مادة الوقود... الخ.

١- طبقا لطاقات النيوترون:

- مفاعل سريع.
- مفاعل متوسط يعمل بامتصاص النيوترونات الوسيطة (Epithermal).
- مفاعل حرارى (طاقة منخفضة).

٢ - طبقا لتجهيز مهدئ الوقود:

- مفاعلات متجانسة.
- مفاعلات غير متجانسة.

٣ - طبقا لمواد الوقود:

- مفاعل اليورانيوم الطبيعي.
- مفاعل اليورانيوم المخصب.
- مفاعل البلوتونيوم.
- مفاعل U-233.

٤ - طبقا للمهدئ:

- مفاعل التهدئة بالماء.
- مفاعل التهدئة بالماء الثقيل.
- مفاعلات التهدئة بالجارفيت.
- مفاعلات التهدئة بالبريليوم أو بأكسيد البريليوم.
- مفاعلات التهدئة بالهيدروكربونات أو بالهيدريدز (Hydrides).

٥ - طبقا للنتج الرئيسي:

- كفاعلات الأبحاث (لإنتاج النيوترونات).
- مفاعلات الطاقة (لتوليد الحرارة)
- مفاعلات التوليد (لإنتاج مواد انشطارية)
- مفاعلات إنتاج (لإنتاج النظائر - Isotopes).

٦ - طبقا للمبرد:

- تبريد المفاعل بالهواء، ثاني أكسيد الكربون أو الهيليوم.
- مفاعلات التبريد بالماء أو أي سائل تبريد آخر.
- مفاعلات التبريد بسائل المعدن.

٧ - طبقا لإنشاء اللب: construction Of Core

- مفاعل مكعب.
- مفاعل مستدير.
- مفاعل مستطيل.
- مفاعل كروي.

٨ - طبقا لطاقة النيوترونات:

علـى أسـاس طاقـة النيوتـرونات لإحـداث الانـشطار، تم تقسيم المفاعلات إلى ثلاث مجموعات وهم السريعة، المتوسطة، الحرارية.

أ - فـى المفـاعلات الـسريعة تـستخدم النيوترونات ذات السرعة العالية وبطاقة ≤ ١ كـيلو فـولت (kev ≥ ١) الـناتجة بالانشطار تستخدم مباشرة لإحداث الانشطار فى وقود المفاعل . سرعة النيوترونات لا تنخفض عمدا.

ب - فـى المفاعـل الحـرارى تستمر عملية الانشطار بسبب النيوترونات البطيئة ذات طاقـة تـساوى ٠,٠٢٥ إلـيكترون فـولت (0.025 ev) (٢٢٠٠ متر/ث). فى هذا يتم تبطيئ النيوترونات بالمهدئات.

جـ - إذا أمكن المحافظة على طاقة النيوترون ما بين ٠,٠٢٥ إلى واحد كيلو إليكترون فولت (1 Kev) عندئذ فإن المفاعلات تسمى المتوسطة.

٩ - طبقا لتجهيز مهدئ الوقود:

بالنـسبة لتنظـيم الوقـود والمهدئ فى المفاعل، يمكن تقسيمهم إلى المفاعلات المتجانسة والغير متجانسة.

أ - فى المفاعل المتجانس، يتم خلط الوقود والمهدئ لتكوين مادة متجانسة.

ب - فى المفاعل الغير متجانس، يستخدم الوقود فى شكل قضبان، ألواح، أو أسلاك والمهدئ يحيط بكل عنصر للوقود فى اللب.

١٠- طبقا لمادة الوقود:

مـع الأخـذ فى الاعتبار المتطلبات الضرورية لعملية الانشطار وإتاحتها اقتصاديا، فإن الوقـود المـستخدم فـى المفـاعلات هو اليورانيوم، البلوتونيوم، الثوريوم ويتم تسميتهم طبقا لذلك.

١١- طبقا للمهدئ:

وظيفة المهدئ هى تبطئ النيوترونات عند اصطدامها بها. الماء الخفيف، الماء الثقيل، الجرافيت هم المهدئات الأكثر شيوعا فى الاستخدام.

١٢- طبقا للمنتج الرئيسى:

أ - مفاعلات الأبحاث:

وهـذه تـصمم لإنـتاج تـدفقات عالـية مـن النيوترونات لأعمال الأبحاث وهذه تستخدم لتعـيين خـواص النيوتـرونات للتفاعل مع النويات وتأثير تصادم النيوترونات على المادة. هذه المفاعلات تعمل عند تدفقات عالية للنيوترونات ومستوى طاقة منخفض.

ب – مفاعلات الطاقة:

فـى مفـاعلات الطاقـة، الطاقة الناتجة فى شكل حرارة تحمل إلى المبادلات الحرارية بتدويـر المـبرد خـلال المفاعـل والمعـادلات الحـرارية حـيث يـتحول ماء التبريد إلى بخار لتشغيل تربيتات توليد الطاقة الكهربية على نطاق كبير.

جـ - مفاعلات التوليد (Breeder Raactors)

هـذا المفاعـل يحـول مـادة الإخصاب (Fertil) إلى مادة انشطارية مثل U^{238}، th^{239}، U^{233} علـى الـتوالى بجانـب إنـتاج الطاقـة فى هذا المفاعل كمية المادة الانشطارية المنتجة تكون أكثر من المستنفذة.

د - مفاعلات الإنتاج:

الخـرج مـن مـثل هـذه المفـاعلات هـو مادة إشعاعية تسمى النظائر المشعة (Radioiso Topos) والتى تستخدم كمصادر للإشعاع والتتبع (Tracers) فى الأبحاث.

١٣ - طبقا للمبرد:

فـى مفـاعلات التـبريد بالغـاز، كمـية الغاز المطلوبة لسحب الحرارة تكون كبيرة جدا ولـذلك فإن هذه المفاعلات تكون مكلفة. الغازات لها طاقة ضعيفة للحمل الحرارى. ثانى أكـسيد الكـربون والهيلـيوم اسـتخدما فى المفاعلات الأولى. غالبا المستخدم فى التبريد هو المـاء. مفـاعلات التبريد بالمعدن السائل مناسبة كذلك لأن المعادن لها درجة حرارة غليان مرتفعة.

١٤ - طبقا لبناء اللب:

الشكل المناسب للب المفاعل يبنى على اعتبارات عملية واقتصادية ويكون إما مكعب، مستدير، أو حلقى.

المفاعل سريع التوليد (Fast Breeder Reactor)

وقـود اليورانـيوم المـستخدم في المفاعلات في الولايات المتحدة الأمريكية يحتوى على حـوالى ٣٪ يورانيوم - ٢٣٥. بينما اليوارنيوم الطبيعى يحتوى على ٠,٧٪ فقط من النظير ٢٣٥. لـذلك فـإن وقـود اليورانـيوم ثرى في U235 الانشطاري، والذى يتم الحصول عليه خـلال عملية إثراى لليورانيوم الطبيعى. حاليا المفاعلات التجارية لاستخدام كفاءة الوقود لأنهـا تـستخلص فقط حوالى ١٪ من الطاقة المتاحة في اليورانيوم الطبيعى. كما في حالة الوقـود الحفـرى. فـإن الإمـداد باليورانـيوم محـدود، وطـبقا لمعدل استخدامه فإنه سوف يـستنفذ خـلال حـوالى ٥٠ عامـا. إذا كان من الممكن ترويض الطاقة في اليورانيوم - ٢٣٨ بطـريقة أو بأخـرى. فـإن اسـتخدام وقـود اليورانيوم سوف يمتد لعدة مئات من السنين. يمكـن تنفـيذ ذلـك فـي مفاعـل توليـد. فـي هذا المفاعل يتم تحويل U238 إلى البلوتونيوم (Pu 239). الذى يمكن أن يعمل كوقود كما في حالة يورانيوم ٢٣٥. مفاعل التوليد يمكن أن يـبدأ باليورانـيوم - ٢٣٥ ويـنـتج كهـرباء، مثل المفاعل العادي، ولكن يمكن كذلك أن تنـتج (Pu-239) مـن U238. مـع الـوقت يـستنفذ U235، ويكـون إنـتاج P 239 أعـلا من اسـتنفاذ U 235. ويقـوم Pu 239 بالعمـل كوقـود وينتج طاقة كهربية. مع استمرار الإمداد باليورانـيوم ٢٣٨. فـإن مفاعـل التولـيد يمكن أن ينتج الكهرباء ووقود أكثر عن الذى بدء به.

فائـدة أخـرى لمفاعـل التولـيد هـى انه يمكن أن يستخدم الثوريوم (Th 235). الثوريوم مـتاح كاليورانـيوم ولكـنه غـير انـشطارى. مفاعـل التولـيد يمكـن أن يحول (Th 232) إلى اليورانـيوم (U 233) والذى يكون انشطاريا مثل (U (235، (Pu (239. هذا يمكن ان يكون فائـدة كـبيرة للـدول التـى لـيس لهـا رواسـب كافـية من اليورانيوم ولكن تكون غنية في الثوريوم.

مفاعـل التولـيد الـسريع لا يـستخدم أى مهـدئ . يستخدم الصوديوم السائل كمبرد، الذى هو قادر على الحصول على كثافات قوة ذات قيم أعلا عن تلك التى يمكن الحصول علـيها مـع المـاء أو الماء الثقيل (D_2O) كمبرد. ينتج عن ذلك خفض المتطلبات في مخزون المـادة الانـشطارية وطاقـات كبيرة بكمية معينة من المادة الانشطارية. درجة الحرارة التى يتم الحصول عليها تكون أعلا، نتيجة كفاءة أعلا في توليد الكهرباء. بينما كفاءة المفاعل

الحديث هى حوالى ٢٨٪، فإن مفاعلات التبريد بالصوديوم ترفع الكفاءة إلى ٤٢٪. توجد مشاكل كثيرة فى تداول الصوديوم عند درجات الحرارة المرتفعة. يوجد فرق واضح فى نوع الوقود المستخدم فى مفاعل التوليد السريع (fast Breeder). الوقود لمفاعل التوليد السريع يجب أن يكون له قدرة حرارية أعلا ويحترق. نسبة المادة الانشطارية فى الوقود يجب أن تكون عالية.

الخواص العامة لمفاعل التوليد السريع: (fast Breeder)

- يستخدم اليورانيوم - ٢٣٥ المخصب أو سبائكه كوقود يقلل مقطع اللب كثيرا. وهذا يقلل الأبعاد الكلية لوعاء المفاعل وكذلك دروع الحماية. الاستثمارات الأولية تكون أكثر. ولكن، على المدى الطويل، فإن المفاعل يبرهن انه اقتصادي.
- مبرد الصوديوم يستخدم حرارة نوعية عالية، توصيل حرارى عالى ويمكن رفعه إلى درجة حرارة عالية بدون التحول إلى حالة البخار، الحجم المطلوب للمبرد يكون أقل.
- المفاعل لا يحتاج إلى مهدئ لأن الانشطار فى اللب يعود إلى النيوترونات السريعة.
- نسبة التحول مرتفعة مع U 235.
- اقتصاديات النيوترون لا تتأثر كثيرا إذا كانت مواد الإنشاء المستخدمة لا تزيد عن ٢٠٪ من اللب بالحجم.
- الوقود يكون فى شكل إبرة ربط (Knitting Needle) لأن الوقود يكون معرضا إلى درجة الحرارة العالية بسبب صغر حجم اللب وارتفاع كثافة الطاقة.
- ممر المبرد هو بقطر ٠,٣٢سم ، لذلك يلزم الحذر نحو عدم انسداد ممر المبرد.
- مادة الإنشاء المستخدمة هى الكروم، الحديد، الصلب المقاوم، النيكل، الحديد ذو الكربون المنخفض. وهذه ذات مقاومة للتآكل فى الصوديوم حتى عند درجة الحرارة العالية، ولكن نسبة الأكسجين يجب أن تكون منخفضة. نظرا لأن تلك المواد ليست مكلفة، فإن نظام الجهاز سوف لا يكون مكلفا.
- نظرا للتوليد السريع فإن استثمار الوقود يكون صغيرا . المفاعلات السريعة، اقتصادية فى عمليات تشغيل نظام الطاقة، حيث تكون مناسبة فى التشغيل لأحمال الذروة. ولها ميزة البدء السريع بسبب عد وجود تسمم الإكزينون

(Xenon) (وهـذا عنصر غازى ثقيل خامل عديم اللون يكون فى الهواء ويستعمل فـى بعض المـصابيح الكهـربائية). بـسبب سـرعة البدء وصغر الحجم، فإن تلك المفاعلات مناسبة لدفع السفن.

استخدام المفاعلات النووية:

الاستخدامات الرئيسية للمفاعلات النووية هى كالآتى:

- إنـتاج الحـرارة لتولـيد الطاقـة الكهـربية، الدفـع (Propulsion)، العملـيات الصناعية واستخدامات أخرى.
- الإمداد بمجال كثيف أو حزم من أشعة النيوترون للتجارب العلمية.
- لإنتاج النظائر المشعة بإشعاع النيوترون.

النظائـر المـشعة التـى تـبعث أشـعات نـشطة وفعالـة ∝، B، Y يمكـن أن تستخدم كمـصادر للحرارة. يتم الحصول عليها من المفاعلات النووية إما كنواتج إنشطار منفصلة أو كنواتج انتقال النيوترون من الأغراض التى يتم إشعاعها.

نـاتج طاقة التحلل (Decay pyoduct Energy) التى تمتص فى المادة المشعة أو فى مواد تغطيـتها وتغلـيفها (It's Cladding) تـتحول إلى حـرارة التـى يمكن وضعها فى الاستخدام العملـى. الميـزة الرئيسية لوقود النظير المشع هو أنها تولد الحرارة بمعدل معين ولا تحتاج إلى الانتباه خلال كل عمرها التصميمى، والذى يمكن أن يزيد عن ٥ سنوات.

ولكـن وقـود النظائـر المـشعة غـير اقتصادى كمصدر للحرارة. التكاليف الأولية عالية، تكاليف الطاقة عالية، تجهيزات استخدامها مكلفة كما أن عمرها المنتج محدود.

مفاعلات الأبحاث والتدريب:

مفـاعلات الأبحـاث الأولى استخدمت اليورانـيوم الطبيعـى ولكـن المفـاعلات الحديثة تستخدم اليورانيوم المخصب كوقود.

مفـاعلات حمـام الـسباحة (Swimming Pool Reactors) توفـر معـدل متوسـط الـتدفق النيوتـرون ($١٠^{١٢}$ إلى $١٠^{١٣}$ نيوترونات/ سم^{٢} / ث). ولها لب المفاعل معلق فى حوض ماء مفـتوح. المـاء يعمل كمبرد وكذلك كمهدئ، درع للإشعاع وعاكس للنيترونات. المستخدمة عادة عناصر الوقود من نوع الألواح، اليوارنيوم - ٢٣٥ عالى الإخصاب.

لمعـدل أعـلا الـتدفق النيوترون (10^{13} إلى 10^{14})، يستخدم عموما نظام تبريد مقفل مع حـوض الفاعـل. فـى حوض المفاعل يوضع اللب خلال الحوض المحكم القفل والذى يتم ضـخ المـياه خلالـه لحمـل الحـرارة بعيدا. هذا النوع ليس بسيطا مثل نوع حمام السباحة واللب ليس من السهل الوصول إليه لأغراض الأبحاث. رغم أن اللب صغير لكثافة الطاقة العالـية، فـإن الحـوض يـصمم بالطـريقة حـيث المادة التى يتم إشعاعها لأغراض البحث والاختـبار يمكـن إيلاجهـا مباشـرة فـى اللـب. بالإضافة فإنه يوجد العديد من الفتحات لأغراض الاختيار، كذلك إنتاج تدفقات عالية، فى غطاء تلك المفاعلات.

مفـاعلات الأبحـاث الأولى باسـتخدام اليورانـيوم المخـصب كانـت من النوع المتجانس (التى تسمى غلايات الماء) ذلك رغم أن الغليان لم يكن مسموحا به. اللب كان يتكون من غـلاف كروى من الصلب المقاوم، بقطر حوالى واحد قدم الذى يحتوى على محلول الوقود المائـى. كانـت الحـرارة يـتم إزالـتها بواسـطة لفائـف مـن مواسـير التـبريد خلال داخل المحـتويات وتـدفقات النيوتـرون العالـية نسبيا بالنسبة لمستوى طاقتها ولها درجة عالية من الأمان.

مفاعـل الأبحاث بالماء الثقيل له كتلة منخفضة من المادة الانشطارية ومعدل تدفق عالى مـن النيوترون الحرارى أكثر من مفاعل الماء الخفيف المصمم لنفس الطاقة. توزيع تدفقات النيوتـرون الحـرارى غـير اللـب مستوى نسبيا وبالتالى فإن هذا النوع يوفر حجم تجريبى كبير عند مستوى تدفق عالى نسبيا.

الفصل الثانى عشر

أنواع المفاعلات النووية

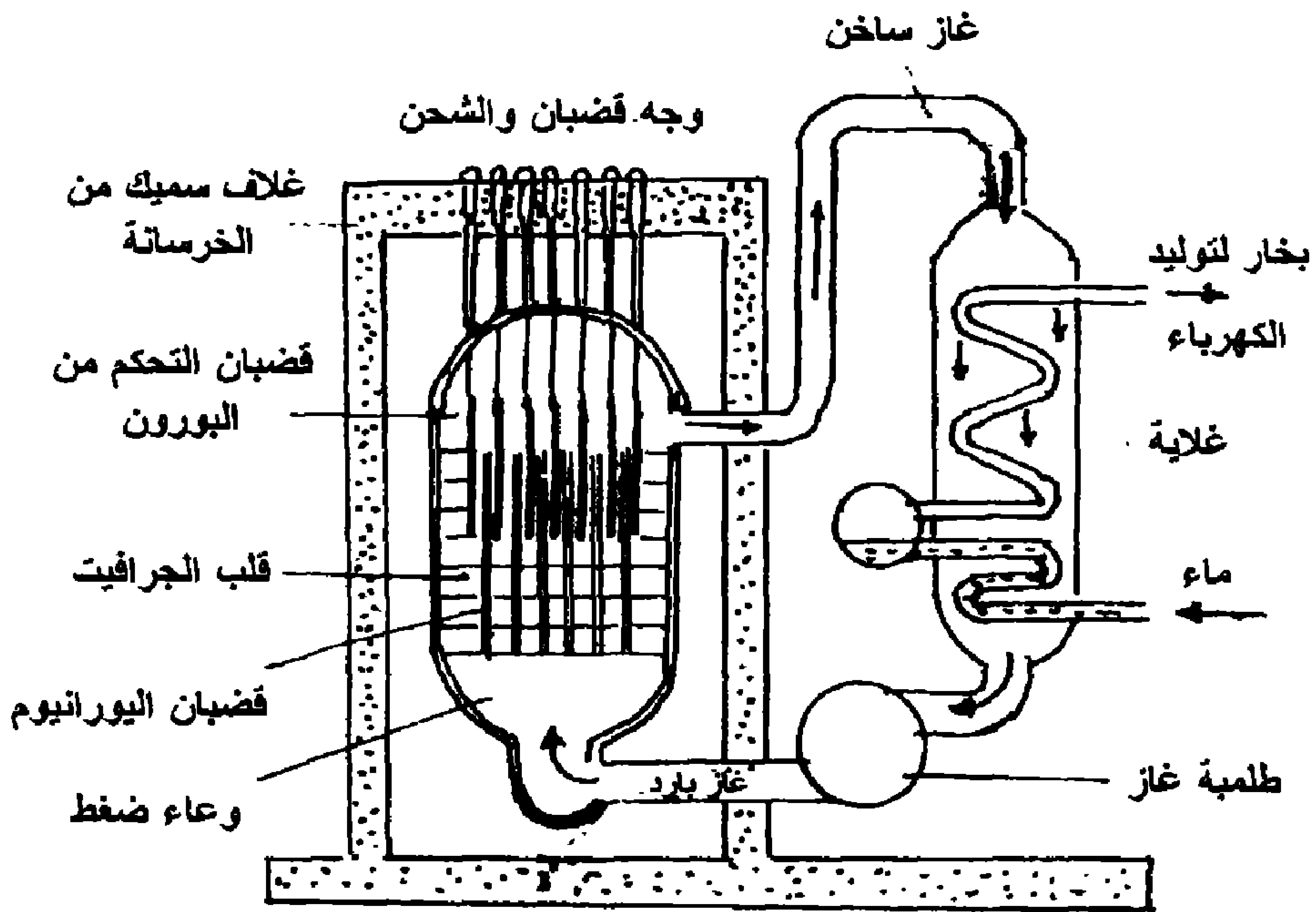
تقسيم المفاعلات النووية :

نظرًا للاستخدامات العديدة للمفاعلات. وكذلك الطرق المختلفة لإنشائها فقد تم تقسيم المفاعلات بطرق مختلفة. بعض التقسيمات مبنى على الاستخدام الرئيسى للمفاعل، والآخر مبنى على مجال الطاقة للنيوترونات في المفاعل، وأخرى طبقا لمختلف الوظائف الذى تقوم به، ولذلك فإنه لتقسيم المفاعلات فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار كل العوامل الثلاث والبعض الآخر ووصفها.

تقسيم المفاعلات طبقا للاستخدام هو كالآتى:-

- مفاعلات الطاقة.
- مفاعلات الأبحاث.
- مفاعلات التوليد.
- مفاعلات الإنتاج.

١- مفاعلات الطاقة: شكل (١/١٢).



شكل (١/١٢) مفاعل التبريد بالغاز

يصمم هذا المفاعل للحصول على أقصى حرارة مفيدة من انشطار الوقود النووى. عندما تكون مصممة لغرض واحد لإنتاج الحرارة عند أعلا معدل ممكن، فإن المفاعل يسمى مفاعل الطاقة فقط (Power - Only) . ولا يوجد أى تدبير فى هذا النوع لتوليد أو لإنتاج النظير المطلوب. مفاعلات الطاقة ذات الغرض المزدوج تصمم ليس فقط لإنتاج الطاقة كهدف أول، ولكن لمنتج آخر كذلك. بعض مفاعلات الطاقة تصمم كمولدات، تلك القادرة على إنتاج مادة أكثر انشطارات تزيد عن ما تحرقه فى عملية الانشطار. لذلك، فالنوع الآخر من المفاعلات ذات الغرض المزدوج، رغم أنها ليست مفاعلات مولدة حقيقة، إلا أنها تنتج بعض من مواد الانشطار الجديدة أو النظير المطلوب. المفاعلات مزدوجة الغرض تشمل ضمن بنائها مكونات إضافية التى تمكنها من التوليد (أو إنتاج النظير). بالإضافة إلى إنها تتطلب تجهيزات إضافية فى وحدة استعادة الوقود للفصل الكيميائى وتنقية المادة الجديدة المنتجة الانشطارية أو نظائر خاصة. بسبب تلك العوامل، فإن المفاعلات ذات الغرض المزدوج ليست مفضلة للنوع المتحرك من المفاعلات حيث يكون نسبة خرج الطاقة على وزن المفاعل عند أقصاها. ولكن، لمحطات الطاقة الثابتة تكون مفاعلات الغرض المشترك مفيدة لأن المواد الانشطارية الجديدة والنظائر هى نواتج ثمينة ويمكن أن توازى تكلفة الإنتاج للطاقة النووية. ولكن حيث يكون وزن وحجم المفاعلات أكثر أهمية، كما فى حالة المفاعلات لدفع الطائرات أو القطع البحرية، فإن مفاعلات الطاقة فقط هى الاختيار المناسب. بعض من مصممى المفاعلات يرى أنه حتى فى حالة إنشاء المفاعلات لمحطات الطاقة الثابتة الضخمة، فإن مفاعلات " الطاقة فقط" قادرة على الحصول على طاقة نووية اقتصادية مقارنة بمفاعلات الغرض المزدوج (Dubal Purpose)

ب - مفاعلات الأبحاث:

الغرض الرئيسى منها هو الإمداد بتدفقات عالية من النيوترونات لأغراض الأبحاث التجريبية.

جـ - مفاعلات التوليد: (Breeder Reactors)

الغرض الرئيسى من هذه المفاعلات هو تحويل مادة الإخصاب (Fertile Material) إلى مادة انشطارية بمعدل أسرع من معدل استنفاذ المادة الانشطارية.

د - مفاعلات الإنتاج:

وهذه تصمم خصيصا لإنتاج النظائر المطلوبة.

كذلك تنقسم المفاعلات إلى السريعة المتوسط (فوق الحرارى). والحرارى (البطيئة) طبقا لمجال الطاقة للنيوترونات المستخدمة لإحداث الانشطار. المعلومات عن مجال طاقة النيوترونات للمفاعل توفر المعلومات الأساسية بالنسبة لمفاعل معين. على الجانب الآخر، مثل هذه المفاعلات يكون من الصعب التحكم فيها، لذلك فإن الاحتياط الزائد مع توفير آليات تحكم للعمل السريعة وذات الحساسية العالية يكون مطلوبا. المفاعل السريع يمكن بناؤه من مجال كبير لاختيار المواد مقارنة بالمفاعل الحرارى، لأن معظم العناصر لها " عينة نيترون سريع" منخفضة جدا.

- المفاعل المتوسط يجب أن يكون له كمية معينة من مادة التهدئة بهدف التهدئة الجزئية للنيوترونات إلى مجال الطاقة المتوسط. لذلك، فإن المفاعل المتوسط يحتمل أن يكون أكبر من المفاعل السريع، ولكن أصغر مقارنة بالفاعل الحرارى لنقس المعدل. المفاعلات المتوسطة أسهل فى التحكم مقارنة بالمفاعلات السريعة، ويكون لها مميزات مواد الإنشاء الكثيرة.
- نوع المفاعلات الأكثر شيوعا هو المفاعل الحرارى أو المفاعل البطيء. وهو أسهل الأنواع الثلاثة فى التحكم ويمكن تصميمه على اليورانيوم الطبيعى أو المخصب قليلا، وهو السبب الرئيسى لتفضيله. الميزة الأخيرة هامة للدول التى ترغب فى بناء مفاعلات طاقة ولكنها لا تمتلك الوسائل المتاحة لإنتاج اليورانيوم الطبيعى أو المخصب قليلا يعنى أن تكلفة الوقود لهذه المفاعلات يمكن أن تكون منخفضة نسبيا مقارنة بالوقود المخصب.

٢ - طريقة أخرى لتقسيم المفاعلات النووية:

هى وصف كيفية انتشار الوقود خلال لب المفاعل (أى طبقا لتجهيز مهدئ الوقود) وينقسم إلى المفاعلات المتجانسة والغير متجانسة.

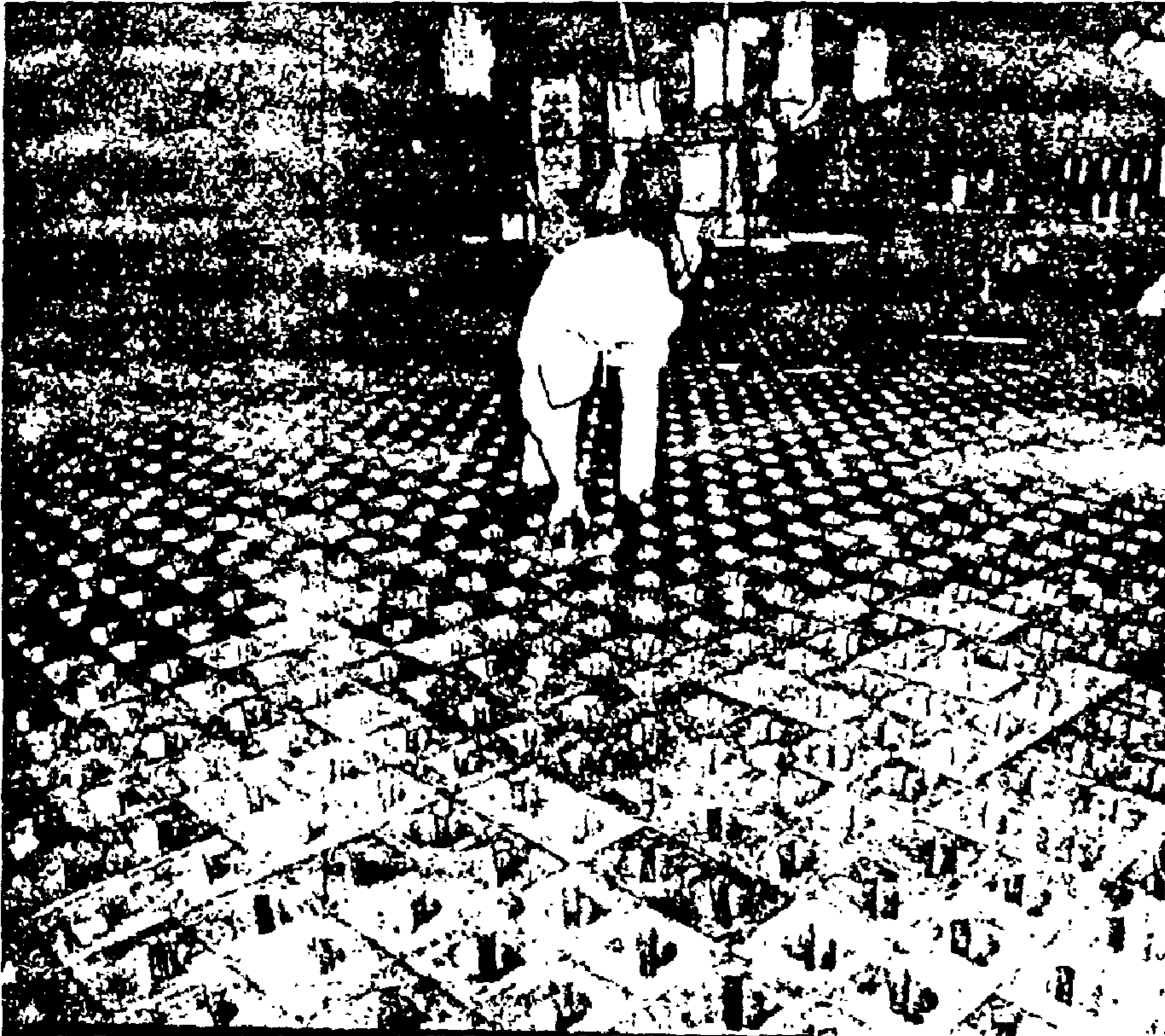
- فى المفاعلات الغير متجانسة: يكون الوقود فى صورة أشكال منفصلة وغير مترابطة، مع الفواصل المناسبة للمهدئ والمبرد، أى أن توزيع الوقود خلال المفاعل يكون غير مستمر.

- في المفاعلات المتجانسة: يكون الوقود مخلوطا جيدا مع إما المبرد أو مع المهدئ أو مع كليهما. بالطريقة حيث لا يقل شكل مستقل للوقود يمكن تأكيده أى أن توزيع الوقود يكون مستمرا خلال لب المفاعل.

مفاعلات الوقود الصلب المتجانسة ممكنة، حيث تكون مادة الوقود في شكل مفتت مع الخلط (أو في شكل سبيكة) مع مادة التهدئة. ولكن معظم المفاعلات التى تعمل تكون من النوع الغير متجانس.

أ - تقسيم المفاعلات طبقا للمهدئات:

- مفاعلات التهدئة بالماء.
- مفاعلات التهدئة بالماء الثقيل.
- مفاعلات التهدئة بالجرافيت شكل (٢/ ١٢)



- مفاعلات التهدئة بالجرافيت.
- مفاعلات التهدئة بالهيدروكربونات أو بالكبيرات (Carbides).

ب - طبقا لمادة التبريد المستخدمة لسحب الحرارة من لب المفاعل تنقسم إلى:

- مفاعلات التبريد بالهواء، الهيليوم، أو ثانى أكسيد الكربون.

- مفاعلات التبريد بالماء أو بالماء الثقيل.
- مفاعلات التبريد بالسائل المعدنى.

فى مفاعلات التبريد بالغاز، تكون كمية الغاز المطلوبة لسحب الحرارة كبيرة جدا لذلك فإن هذه تكون مكلفة. بالإضافة إلى أن الغازات لها قوة حمل حرارى ضعيفة. مفاعلات التبريد بسائل المعدن مناسبة ذلك لأن المعادن لها درجة حرارة غليان عالية.

جـ - طبقا للوقود المستخدم فى المفاعل تنقسم المفاعلات إلى :

- المفاعلات حيث الوقود من اليورانيوم الطبيعى.
- المفاعلات حيث الوقود من اليورانيوم المخصب.
- المفاعلات حيث الوقود من البلوتونيوم.
- المفاعلات بالوقود من اليورانيوم - ٢٢٣.

د - طبقا لشكل لب المفاعل (طبقا لاعتبارات عملية وإقتصادية) :

- مفاعل مكعب.
- مفاعل كروى.
- مفاعل أسطوانى.
- مفاعل ثمانى الزوايا والأضلاع (Octagonal) .

كذلك يمكن تقسيم المفاعلات كمفاعلات ثابتة أو متحركة طبقا لاستخدامها إما كمحطة طاقة مركزية أو فى حدات الدمغ.

٣ - أنواع المفاعلات النووية :

المفاعلات الأكثر شيوعا فى الاستخدام تحتوى على وقود وماء (خفيف) طبيعى فى أوعية ضغط ضخمة. نوع المفاعل هذا يسمى مفاعل الماء الخفيف (Light Water Reactor - LWR). وهو يعمل عند٧٠ - ١٥٠ كجرام/سم٢ عند ٣١٥°م. بسبب درجة حرارة التشغيل المنخفضة، فإن الكفاءة الكلية لهذا المفاعل هى ٣٢٪.

النوع الآخر هو مفاعل الماء المضغوط حيث فيه لا يتم غلى الماء ولكن يمر إلى مبادل حرارى الذى ينتج البخار فى حلقه منفصلة.

النوع الآخر هو مفاعل الماء المغلى حيث البخار من وعاء الضغط يمر مباشرة خلال التربينات.

مفاعل المملكة المتحدة المتقدم بتبريد الغاز استبدل غاز ثانى أكسيد الكربون بالماء كمبرد. السائل الأولى يسلم الحرارة إلى حلقة ثانية من الماء الذى يتحول إلى البخار عند حوالى ٥٤٠°م. لذلك فإنه يمكن الحصول على كفاءة أعلا من هذا المفاعل. مفاعل آخر هو مفاعل الغاز ذو درجة الحرارة العالية الذى يشبه مفاعل التبريد بالغاز ولكن يستخدم كسائل أولى الذى يمتص الحرارة من عناصر الوقود المغطاة بالجارفيت. باستخدام هذا الغاز الخامل فإنه يتم خفض مشاكل التآكل، التلف الإشعاعي، الإشعاعية. يتم الحصول على كفاءة أعلا بسبب درجة حرارة التشغيل الأعلى. الوقود المستخدم فى مفاعل الغاز عند درجة الحرارة العالية يجب تخصيبه كلية وهو يعمل على دورة الثوريوم - يورانيوم- 233 °.

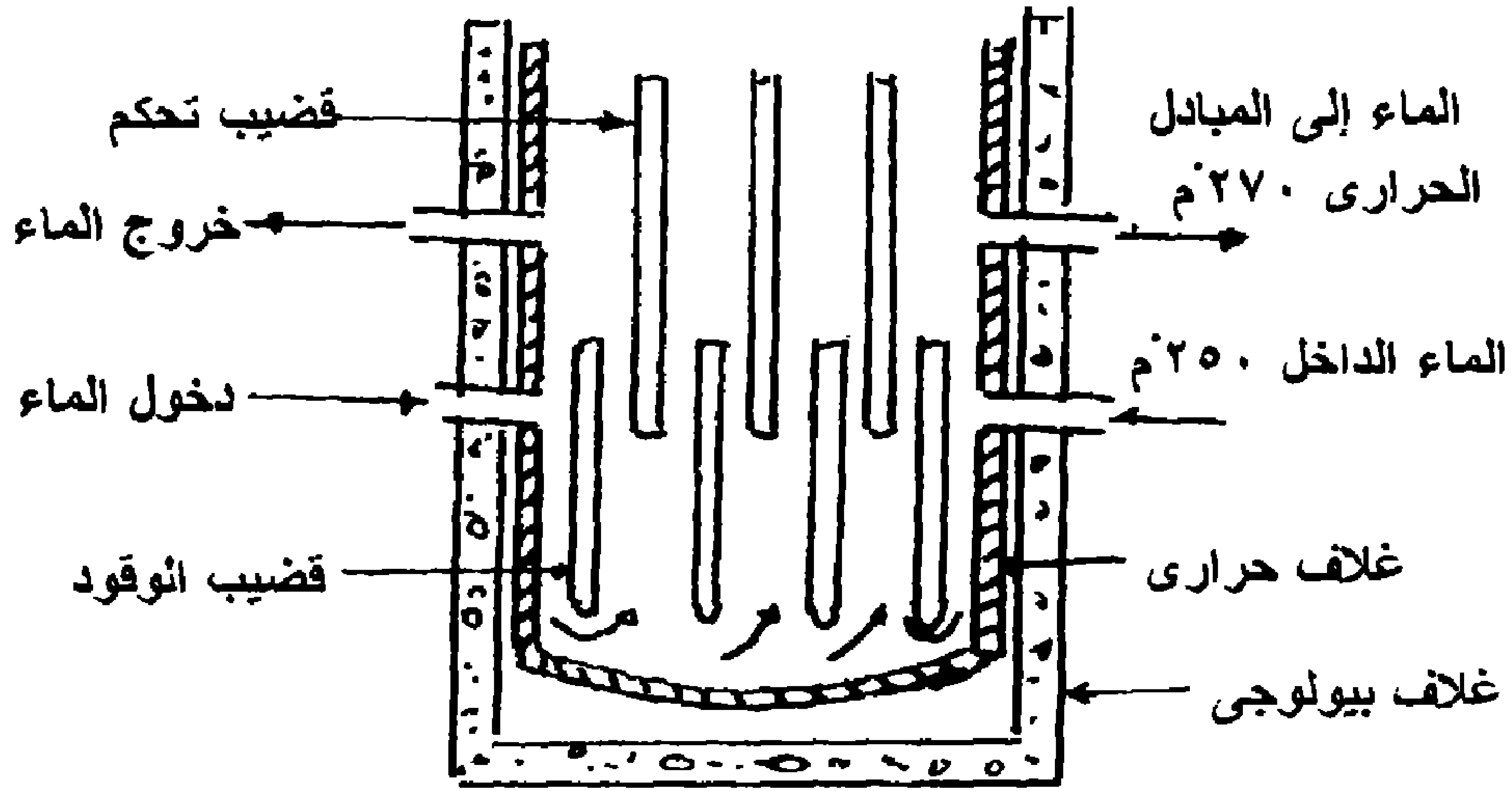
مفاعل آخر معروف جيدا هو المفاعل الكندى. وهو من نوع الإنشاء بما سورة الضغط ويسمح بإعادة التغذية بالوقود على الخط. يمكن أن يعمل باليورانيوم الطبيعى ويتم تهدئته وتبريده بالماء الثقيل.

لقد حددت الوكالة الأمريكية للطاقة الذرية كل المفاعلات حيث لا تزيد طاقتها عن ٣٨٠٠ ميجاوات من حرارة المفاعل. وطبقا لهذا فإن مفاعلات الماء الخفيف ذات كفاءة ٣٢٪ أقصى إنتاجها يكون ١٢٠٠ ميجا وات، مفاعلات الغاز بدرجة الحرارة العالية ذات كفاءة ٤٠٪ سوف تكون حدودها هى ١٥٠٠ ميجا وات.

بعض المفاعلات الهامة سيتم وصفها كما يلى:

أ - مفاعل الماء المضغوط: Pressurised Water Reactor

مفاعل الماء المضغوط هو أحد أكثر المفاعلات استخداما. يتم تغذيته بالوقود باستخدام أكسيد اليورانيوم المخصب قليلا والتغطية (التغليف - Clad) بالصلب المقاوم أو بسبيكة الزركونيوم. لب (قلب) المفاعل يتم تبريده بالماء والذى يعمل كذلك كمهدئ. ماء التبريد بعد تسخينه فى لب المفاعل، يولّد بخار فى الغلاية . يمكن من المخطط الموضح فى الشكل (٣/ ١٢) يوجد مسارين المسار الأولى الذى فيه مياه التبريد المنضغطة تدور والمسار الثانى الذى يتم فيه توليد البخار.



شكل (١٢/٣) المفاعل بضغط الماء

المميزات الرئيسية لمفاعل الماء المضغوط هى كالآتى:

- يعتبر الماء غير مكلف مقارنة بالمبردات والمهدئات الأخرى.
- تقنية هذا المفاعل تم تطويرها جيدا.
- المـاء مادة تبريد ذات كفاءة جيدة بسبب طاقته الحرارية العالية ومعامل الانتقال الحرارى العالى.
- الماء مهدئ جيد.

العيوب الرئيسية هى كالآتى:

أهمـية استخدام الضغط العالى للحصول على درجة حرارة عالية مناسبة بدون غليان . لـذلك فـإن نظـم المفاعـل يلـزم تصميمه للضغط المرتفع والماء يلزم ضخه لرفع الضغط. هذه العوامل تزيد التكاليف الأولية للمعدة وكذلك تكاليف التشغيل.

الوقود يجب على الأقل إخصابه قليلا (وفى حالات أخرى يكون الإخصاب عاليا).

ب - مفاعلات الماء المغلى: Boiling Water Reactors

فـى مفاعل الماء المضغوط، يتم منع غليان الماء فى اللب بالضغط. فى مفاعل الماء المغلى يسمح للمياه بأن تغلى وذلك بتبريده. هذا يمكن باستخدام ضغط أقل كثيرا، ليكون حوالى ٧٠ كجـرام/سـم٢ مقارنة بضغط ١٣٥ كجرام/سم٢ المفاعل الماء المضغوط. البخار الناتج يتم اسـتخدامه مباشرة لتشغيل التربينات. الوقود المستخدم هو نفسه مثل ذلك فى مفاعل الماء المضغوط أى أكسيد اليورانيوم المخصب والتغطية بالصلب المقاوم أو بالزركونيوم.

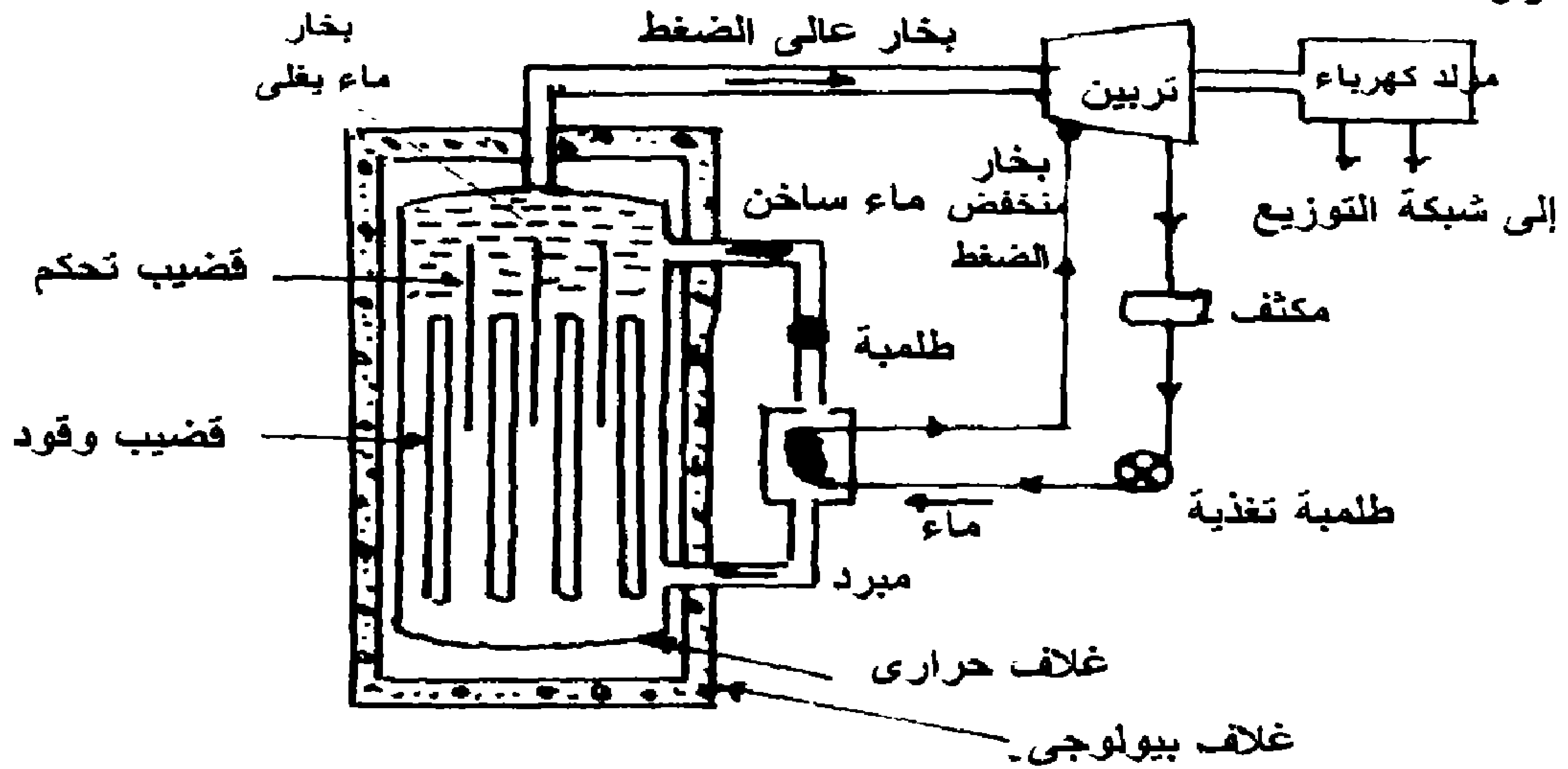
مميزات مفاعل الماء المغلى:

- إمداد البخار للتربينات يكون ذو ضغط عالى.
- نظرا لتحول الماء إلى بخار فى مفاعل وعاء الضغط نفسه فإنه لا تكون هناك حاجة إلى مبادلات معينة.
- يلزم فقط طلمبات صغيرة للتغذية بكمية من المبرد السائل.

تدفق البخار يتم التحكم فيه بالحمل الحرارى الطبيعى. الماء المكثف يكون قليلاً ويمكن عودته إلى المفاعل باستخدام طلمبة تغذية صغيرة.

السلبيات الرئيسية لمفاعل الماء المغلى:

عند درجات الحرارة العالية يمتلئ قلب المفاعل بفقاعات البخار والتى تعمل بغير نظام. بسبب ضغط فقاعات البخار، فإن نسبة التهدئة للماء تقل ويقل معامل الانتقال الحرارى.



شكل (١٢/٤) مفاعل الماء المغلى

جـ - مفاعل درجة الحرارة العالية والتبريد بالغاز:

High Temperature Gas Cooled Reactor

عند استخدام الغاز كمبرد يوفر الحصول على درجة حرارة عالية عند ضغط أقل وخفض مشاكل التآكل. ولكن السلبية الرئيسية للغاز هى طاقتها الحرارية القليلة وضعف معامل انتقالها الحرارى. بسبب انخفاض طاقته الحرارية ومعامل الانتقال، فإن نوعية الغاز المطلوبة للتبريد كبيرة جدا ويلزم توفير مرواح نفخ قوية (Blower). عند استخدام الماء للتبريد، فإن طاقة الضخ المطلوبة تكون ٥ - ٦٪ من الطاقة، ولكن مع الغاز تكون ١٩ - ٢٤٪. الوقود المستخدم عموما هو كربيد اليورانيوم عالى الإخصاب المخلوط مع كربيد

الثوريوم والمبطن بالجرافيت. المهدئ المستخدم هو كذلك الجرافيت. بعض المفاعلات تستخدم اليورانيوم الطبيعى مع الجرافيت كمهدئ. الضغط فى النظام الأولى هو من ٢٠ إلى ٢٤ كجرام/ سم٢ ودرجة حرارة خروج المبرد هى حوالى ٧٦٠°م .

أول مفاعل بتبريد الغاز كان (Calder Hall Gas). هذا المفاعل تم تطويره لغرض مزدوج، لتوليد الكهرباء ولإنتاج البلوتونيوم للأغراض العسكرية.

الدائرة الأولى تتكون من وعاء ضغط ضخم من الصلب الكربون المحتوى على ١٠٠٠ طن من لب الجرافيت، وأربع حلقات متوازية من المبرد، كل بمبادل حرارى ضخم للبخار وثانى أكسيد الكربون ونافخ بطاقة ٢٠٠ حصان يعمل بالتيار المتغير. درجة حرارة جلد تلك العناصر يظل عند ٤٠٠°م. قضبان التحكم هى من صلب البورون المبطن بالصلب المقاوم.

غاز التبريد المستخدم فى مفاعل درجة الحرارة المرتفعة والتبريد بالغاز يجب أن يكون له اقتصاديات نيترون عالية أى أن مساحة مقطع اقتناص النيوترون يجب أن تكون صغيرة، وكذلك طاقة حرارية عالية. على هذا الأساس، فإن الهيليوم هو الأكثر مناسبة، ولكن نظرا لأن ثانى أكسيد الكربون رخيص فقد استخدم فى مفاعل الغاز البارد.

د - مفاعل التبريد بالغاز : (The Hinkley Point)

هذا مفاعل آخر للتبريد بالغاز الذى تم تطويره فى إنجلترا. الظاهرة فى هذا المفاعل هى لبّه الكروى. نظرا لأن نسبة السطح إلى الحجم تكون أدناها عند الشكل الكروى، فإن حجمها الحرج يكون أصغر كثيرا عن الأشكال الأخرى. اللب ينشأ من كتل الجرافيت وتوضع قضبان الوقود فى قنوات الوقود. الجرافيت يعمل كمهدئ وعاكس. الوقود هو اليورانيوم الطبيعى فى شكل قضبان. المبرد هو ثانى أكسيد الكربون عند ضغط ٣٠ كجرام/ سم٢. درجة حرارة خروج الغاز هى ٣٣٦°م.

هـ - مفاعل التهدئة بالماء الثقيل: Heavy water Moderator Reactor

كمهدئ، الماء الثقيل له تأثير يزيد عن الماء. الماء الثقيل أكثر تأثيرا فى تبطئ النيوترون وله مساحة مقطع امتصاص أصغر. لذلك، فإن مفاعل التهدئة بالماء الثقيل له معامل مضاعفة أعلا، حجم أصغر ومعدل تدفق أعلا للنيوترونات فى اللب. كذلك، عند استخدام الماء الثقيل كمهدئ فإن إنتاج Pu-239 الذى هو وقود كذلك يكون أعلى.

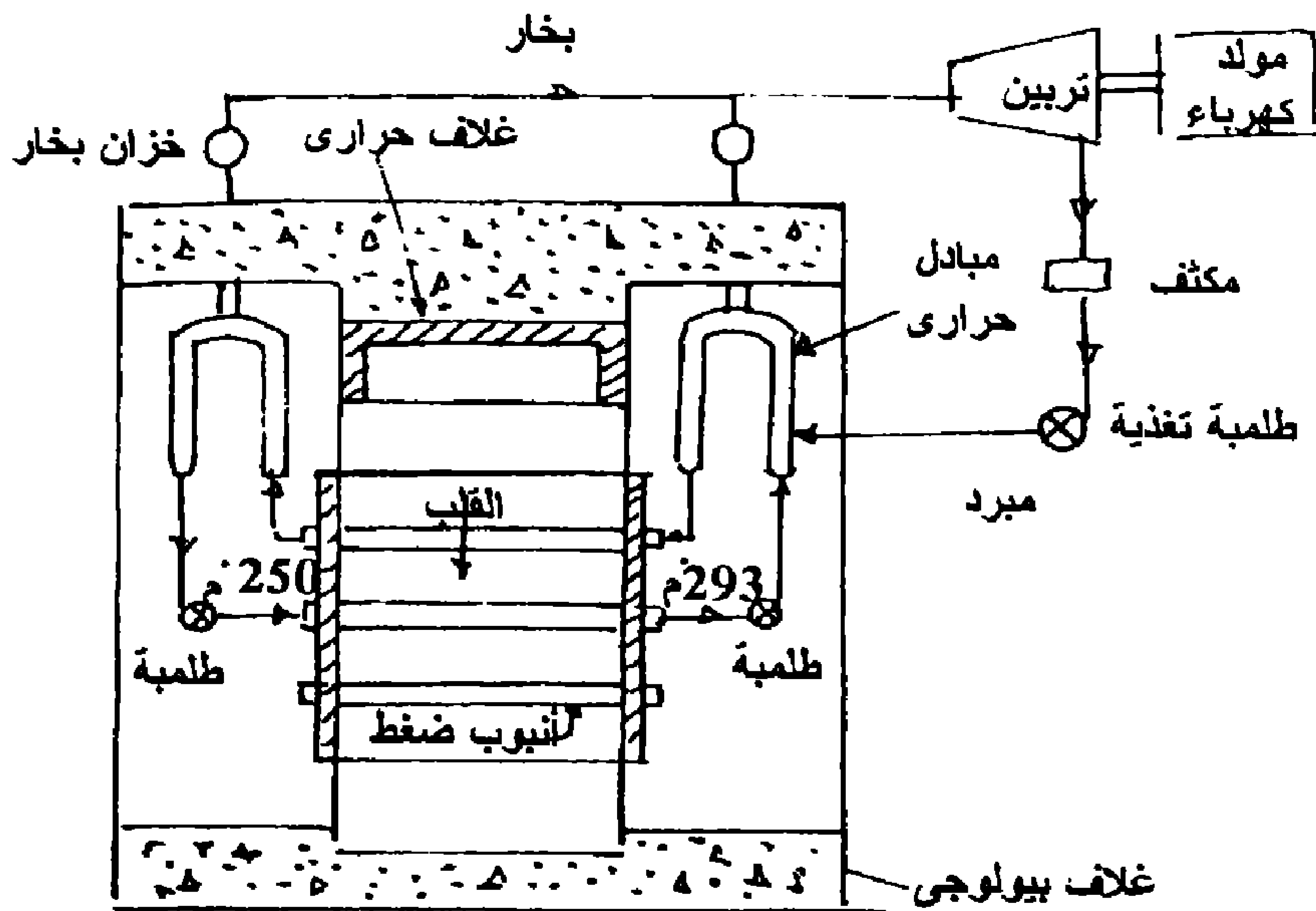
٤ - مفاعل كاندو : (Candu Reactor)

هذا المفاعل يستخدم الماء الثقيل كمهدئ ومبرد وعاكس. فى مفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء المغلى. يصمم كل وعاء المفاعل بالضغط العالى. ولكن فى مفاعل كاندو، كل وعاء المفاعل غير مصمم للضغط العالى، المصمم فقط للضغط العالى هو نظام التبريد فقط. لهذا فإن تكاليف المفاعل أقل كثيرا. المفاعل يتكون من حوض الصلب الأفقى الذى فيها مواسير الضغط تسير أفقيا من نهاية إلى أخرى. مثل هذه أنابيب الضغط هى ٣٠٦. عناصر الوقود توضع فى أنابيب الضغط. الفواصل بين أنابيب الضغط يتم ملؤه بالمهدئ (الماء الثقيل).

أنبوبة الضغط تصنع من (Zir Calloy -2). داخل أنبوبة الضغط توجد أنبوبة أخرى تعرف بأنبوبة قناة الوقود. خلال أنبوبة قناة الوقود، يتدفق المبرد من الماء الثقيل فوق عنصر الوقود. للعزل الحرارى للمهدئ من المبرد خلال الفاصل أنبوبة قناة الوقود وأنبوبة الضغط. فإن الهواء يتدفق بسرعة بطيئة. يساعد هذا فى خفض درجة حرارة المهدئ.

فى كل أنبوبة ضغط يوجد اثنى عشر حزمة وقود، وكل حزمة تحتوى تسعة قضبان من أكسيد اليورانيوم. بتجهيز أنبوبة الضغط مزود ماكينة تعبئة عند احد النهايات لتعبئة الأنبوبة.

يتدفق المبرد خلال الأنابيب عند ضغط ٧٧,٥ كجرام / سم٢ وعند ٢٧٥°م. المفاعل له ثمانية مبادلات حرارية التى يتم فيها توليد البخار. البخار الذى يتم توليده يكون جافا ومشبعا وعند ضغط ٢٨,٢ كجرام/ سم٢. شكل (٥/ ١٢) يوضح مفاعل المكثف.



شكل (١٢/٥) مفاعل التكثيف

٥ - مفاعل التبريد بالمعدن السائل: Liquid Metal Cooled Reactor

الكفاءة الحرارية للمفاعل يمكن زيادتها بزيادة درجة حرارة التشغيل. عند استخدام معدن سائل مثل الصوديوم، يمكن الحصول على درجة حرارة مرتفعة جدا بدون انضغاط. كذلك فإن سائل المعادن يكون مجال كفؤ للانتقال الحرارى.

فى معظم الحالات سائل المعدن المستخدم عادة هو الصوديوم السائل (درجة حرارة انصهاره ٨٨٢°م). بالإضافة إلى ذلك فإن له ميزة انخفاض مقطع امتصاص الصوديوم.

فى مفاعلات التبريد بالصوديوم، فإن المهدئ المستخدم هو الجرافيت يحافظ على نقائه العالى وقوته الميكانيكية عند درجة الحرارة العالية التى تكون موجودة. لا يمكن استخدام الماء الثقيل ذلك لأنه يلزم انضغاطه بدرجة عالية لمنع الغليان. يمكن استخدام البريليوم ولكنه مكلف.

من الضرورى فى نوع المفاعل هذا أن يتم المحافظة على عزل كل من الصوديوم والجرافيت كل منهما عن الآخر. إذا حدث أن التصق الجرافيت مع سائل الصوديوم، فإن مقطع امتصاصه للنيوترونات يزداد وتقل قوته الميكانيكية. يمكن عزل كليهما بتعليب كل كتلة جرافيت بالزركونيوم أو بتدفق المبرد خلال الأنابيب. عند درجة الحرارة العالية، تتأثر اقتصاديات النيوترون للمفاعل عند وصول متوسط الطاقة المصاحبة للنيوترون ذروه امتصاص الرنين.

لهذا، فإن تحول U238 إلى Pu239 يكون منخفضًا ذلك لأن نواه Pu239 تمتص النيوترونات وتتحول إلى Pu249 الذى هو غير انشطاري. ولكن المفاعل مناسب فى تحويل الثوريوم إلى U233.

تجربة مفاعل الصوديوم الذى تم بناؤه بواسطة الولايات المتحدة هو بالتبريد بالصوديوم والتهدئة بالجرافيت. وعاء المفاعل مصنوع من أسطوانة من الصلب المقاوم الموضوعة فى حوض خارجى من الصلب الكربونى. لب المفاعل عبارة عن مصفوفة رأسية من منشورات الجرافيت. كل منشور له ثقب مركزى الذى يعمل كقناة لتدفق المبرد من سائل الصوديوم. قضبان الوقود توجد خلال منشورات الجرافيت. الوقود المستخدم هو اليورانيوم المخصب (حتى ٩٣٪). قضبان التحكم من البورون أو النيكل.

مبرد الصوديوم يصبح مشع نتيجة تصادم النيوترون في اللب. لتجنب أخطار الإشعاع. يوجد منحنيين للصوديوم. المنحنى الأول للصوديوم يوجد خلال الغلاف البيولوجي. المنحنى الثاني للصوديوم يولد بخار ويوجد خارج الغلاف البيولوجي.

في مفاعلات التوليد، يمكن استخدام الصوديوم فقط كمبرد لأن خرج الطاقة لمفاعل التوليد يكون عاليا جدا.

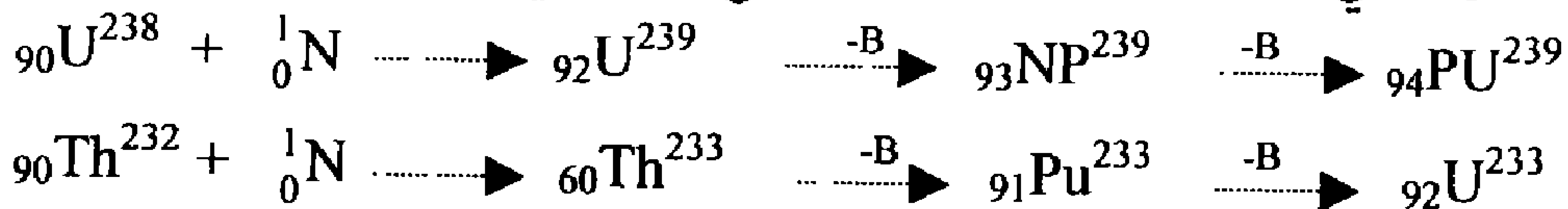
٦ - المفاعل المولد السريع: fast breeder Reactor

المفاعلات الحرارية لا تستخدم بكفاءة الوقود النووى لأنها قادرة فقط على استخلاص حوالى ١٪ من إمكانيات الطاقة في اليورانيوم الطبيعي والذى يحتوى مجرد ما قدرة ٠,٧١٪ من مادة انشطارية أى U235، الباقي يورانيوم U238 غير انشطاري. الطاقة المتاحة في U238 يمكن استخلاصها باستخدام المفاعل المولد وذلك بتحويله إلى البلوتونيوم الذى هو قابل للانشطار. المفاعل المولد يمكن كذلك أن يحول الثوريوم الوفير إلى U233، أى مادة انشطارية أخرى. في المفاعلات الحرارية، تشكل المادة الانشطارية كحد أقصى ٣٪ (في اليورانيوم المخصب) بينما في المفاعل السريع، فإن كل الوقود انشطاري.

المفاعل يسمى المولد السريع لأنه يستخدم النيوترونات السريعة للانشطار وتوليد (إنتاج) وقود انشطارى يزيد عن ما يستهلكه. مفاعل التوليد أكثر سخونة عن المفاعل العادى. كثافة الطاقة أعلا بكثير. قضبان الوقود تكون معبأة متلاصقة والحرارة الناتجة لوحدة الحجم تكون أضعاف كثيرة عن تلك للمفاعل الحرارى. في مفاعل التوليد، يتم الحصول على التوليد بجمع كلا من المواد الانشطارية والخصبة (Fissionable And Fertile) في قلب المفاعل في الظروف التي توفر ليس فقط نيوترونات كافية لنشر التفاعل المتسلسل في المادة الانشطارية ولكن كذلك ما يكفى لتحويل المادة الخصبة إلى مادة انشطارية بما يزيد عن الموجود أصلا.

عادة مفاعلات التوليد، تعمل عند درجات الحرارة الأعلى عن المفاعلات التجارية الحالية ولذلك فلها كفاءة حرارية أعلا، تكلفة الطاقة أقل حساسية إلى تكلفة مادة اليورانيوم الخام وأخيرا فغنها قادرة على إنتاج مادة انشطارية U-233 من الثوريوم ويمكنها تحويل معظم المواد الغير انشطارية U-238 إلى اليورانيوم الطبيعي (U-238 يمثل ٩٩,٣٪ من اليورانيوم الطبيعى) إلى وقود انشطارى جديد Pu-239. لذلك فإن المولد يمكنه الإمداد بالوقود النووى بمعامل لا يقل عن ١٠٠.

عـدد النيوتـرونات الـمنطلقة لكـل نيوتـرون ممتص يعتمد على نوع الوقود وكذلك على مجـال طاقـة النيوتـرون . فى المولد يلزم لا يقل عن اثنين نيوترون لكل انشطار – أحدهم لاسـتمرار الـتفاعل المتسلـسل والآخـر لتولـيد وقـود جديد من المادة الخصبة.Pu-239 هو أحسن وقود لعمل مفاعل التوليد عند طاقات نيوترون سريعة " Fast"، بينما U-233 هو الأفـضل لـنفس العمـل عـند طاقات نيوترون أقل نسبيا. دورتا توليد الوقود النووى تشمل تحـول الـنظير الخـصب U-233 وth-232 على التوالى إلى Pu-239، U-233 بامتصاص النيوترونات وبالتالي تآكل أشعة بيتا كما هو موضح فى الآتي:



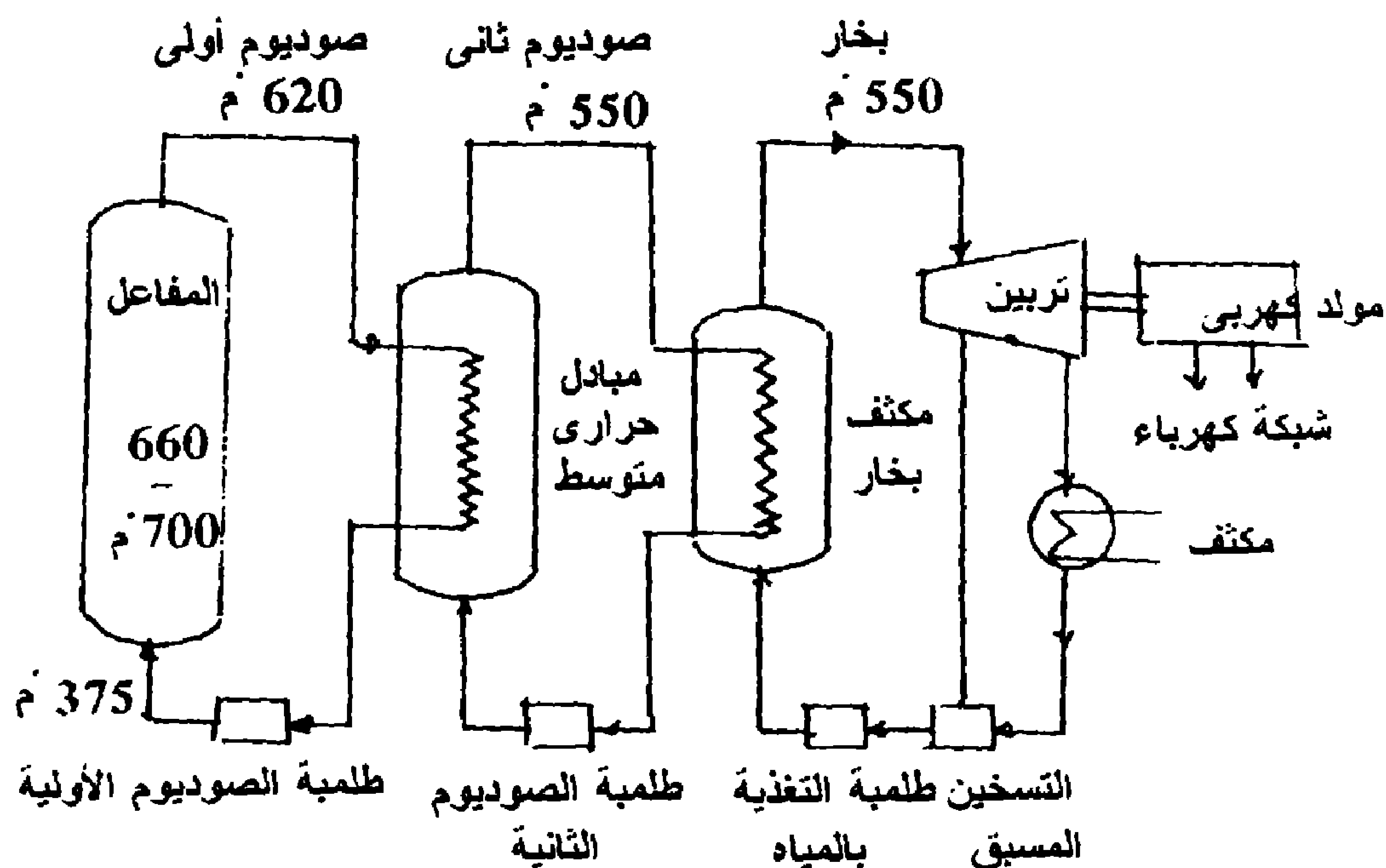
$$_{90}U^{238} + {}_{0}^{1}N \longrightarrow {}_{92}U^{239} \xrightarrow{-B} {}_{93}NP^{239} \xrightarrow{-B} {}_{94}PU^{239}$$

$$_{90}Th^{232} + {}_{0}^{1}N \longrightarrow {}_{60}Th^{233} \xrightarrow{-B} {}_{91}Pu^{233} \xrightarrow{-B} {}_{92}U^{233}$$

المفاعلات المستخدمة لدورة كل من U-238 إلى Th-232 و U-233 إلى U-233 تكون إمـا إنهـا مبنـية أو أن تكـون فـى سـبيلها للبناء، رغم الجهد الرئيسى المتبادل كان على مفـاعلات التـبريد بالمعـدن الـسائل التى تستخدم دورة Pu-239 / U-238. دورتا التوليد تلـك تختلف فى أن PU-239 ينتج معظم النيوترونات فى المفاعلات المصممة للعمل على نيوتـرونات سـريعة عالـية السرعة، بينما U-233 تنتج معظم النيوترونات أثناء الانشطار الذى سببه النيوترونات ذات السرعة الأقل.

مفـاعلات التولـيد يـتم الحكـم علـيها بالكفاءة التى يمكن بها إنتاج وقود يزيد عن ما تـستهلكه. وهذا يعبر عنه " مضاعفة الزمن" " Doubling Time" أو الزمن اللازم لإنتاج ضعف الوقود الذى يستهلك. المولدات تصمم عادة لمضاعفة الزمن لأقل من عشر سنوات.

مفاعـل التوليد السريع الأكثر انتشارا هو المفاعل المولد السريع بسائل المعدن والذى له ميـزه خـواص المعـدل الـسائل، الصوديوم، كمبرد لنقل الحرارة من قلب المفاعل إلى مولد الـبخار. الكفـاءات الحـرارية للمفاعل تكون عالية مقارنة بالمفاعل الذى يعمل بتبريد الماء وكـذلك الأوانـي والمواسـير تكـون ذات إنـشاء عـالى جـدا. علـى الجانـب الآخـر، الـنظم المحـتوية علـى الـصوديوم يجب أن تكون مقاومة للتسرب، لأن الصوديوم يتفاعل بعنف مع بخار الماء والأكسجين، بجانب انه يصبح مشع عند مروره خلال مجال النيوترون فى قلـب المفاعل ولذلك فإن كل مكونات نظام التبريد الأولى يجب أن توضع فى وضع مغلف لحمايـة العـاملين - تداول الوقود والصيانة تعتبر صعبة جداً ذلك لأن الصوديوم ليس فقط معـتما ولكـن يـسبب نـشاطه الكيميائـي، حـيث لا يمكـن فـتح النظام إلى الهواء إلا بعد التفريغ التام للصوديوم. الشكل (٦/ ١٢) يوضح التوليد السريع بسائل المعدن.



شكل (١٢/٦) مفاعل التوليد السريع باستخدام السائل المعدنى

يوجد جدل كثيرا نحو أخطار المفاعل سريع التوليد وخاصة فى الولايات المتحدة. المولد يكون شديد السخونة ويتم ضخ الصوديوم السائل خلال اللب لإزالة الحرارة المتولدة. مبرد الصوديوم السائل الذى يخرج من المفاعل عند ٥٨٠ ْم ليس عالى الإشعاعية ولكنه شديد العدوانية وكذلك يمكن أن ينفجر عند التعرض القليل للماء.

الأكثر أهمية، هو تدفق الصوديوم عند سرعة قناة عالية والتى عندما يحدث لها انسداد أو إعاقة بأي طريقة ما، فإن قلب المفاعل نفسه يمكن أن ينصهر. بعض العلماء ذكر أنه يوجد احتمال الانفجار النووى فى قلب الوقود المحتوى على أكثر من كتلة حرجة واحدة لكل المادة الانشطارية. ولكن هذا لم يحدث فى المفاعل العادى الذى وقوده له تركيز منخفض جدا من الذرات الانشطارية.

٥ - مفاعلات الأبحاث والتدريب:

الغرض الرئيسى من مفاعل الأبحاث والتدريب هو لإنتاج تدفقات عالية من النيوترونات لعمل التجارب المتعلقة بالتكنولوجيا النووية، ولتدريب العاملين للعمل فى محطات الطاقة النووية. مفاعلات الأبحاث الأولى استخدمت اليورانيوم الطبيعى ولكن الحديثة تستخدم الوقود من اليورانيوم المخصب.

مفاعلات حمام السباحة توفر معدل تدفق معتدل للنيوترون (من $١٠^{١٢}$ إلى $١٠^{١٣}$) ولها قلب المفاعل معلق فى حمام ماء مفتوح الذى يعمل كمبرد، مهدئ، وعاكس النيوترون غلاف الإشعاع. عناصر الوقود من نوع اللوح (Plate Type) عالية الإخصاب فى هى المستخدمة عادة.

لزيادة تدفقات النيوترون ($١٠^{١٣}$ إلى $١٠^{١٤}$) فإن المستخدم هو نظام التبريد المفضل المقفل مع حوض المفاعل. فى حوض المفاعل يوضع اللب (القلب) خلال خزان بتوصيلات حيث يتم ضخ المياه خلالها لحمل الحرارة. هذا النوع ليس بسيطا مثل نوع حمام السباحة والقلب ليس فى المتناول لأغراض الأبحاث. ولكن القلب صغير لزيادة كثافة الطاقة، الخزان مصمم بالطريقة التى يمكن بها إدخال المادة المطلوب إشعاعها لأغراض البحث أو الاختبار مباشرة فى القلب. هذا بالإضافة، إلى وجود العديد من الفتحات لأغراض الاختبار، كذلك إنتاج تدفقات، فى غطاء تلك المفاعلات.

أول مفاعل أبحاث باستخدام اليورانيوم المخصب كان من النوع المتجانس (الذى يسمى غلاية الماء) ذلك رغم أن الغليان لم يكن مسموحا به. القلب مكون من غلاف كروى من الصلب المقاوم، بقطر حوالى واحد قدم الذى يحتوى على محلول الوقود المائى. الحرارة تزال بواسطة لفات مواسير التبريد الملفوفة خلال داخل المحتويات. وهو يوفر تدفق كبير نسبيا للنيوترون بالنسبة لمستوى طاقته وله درجة عالية من الأمان.

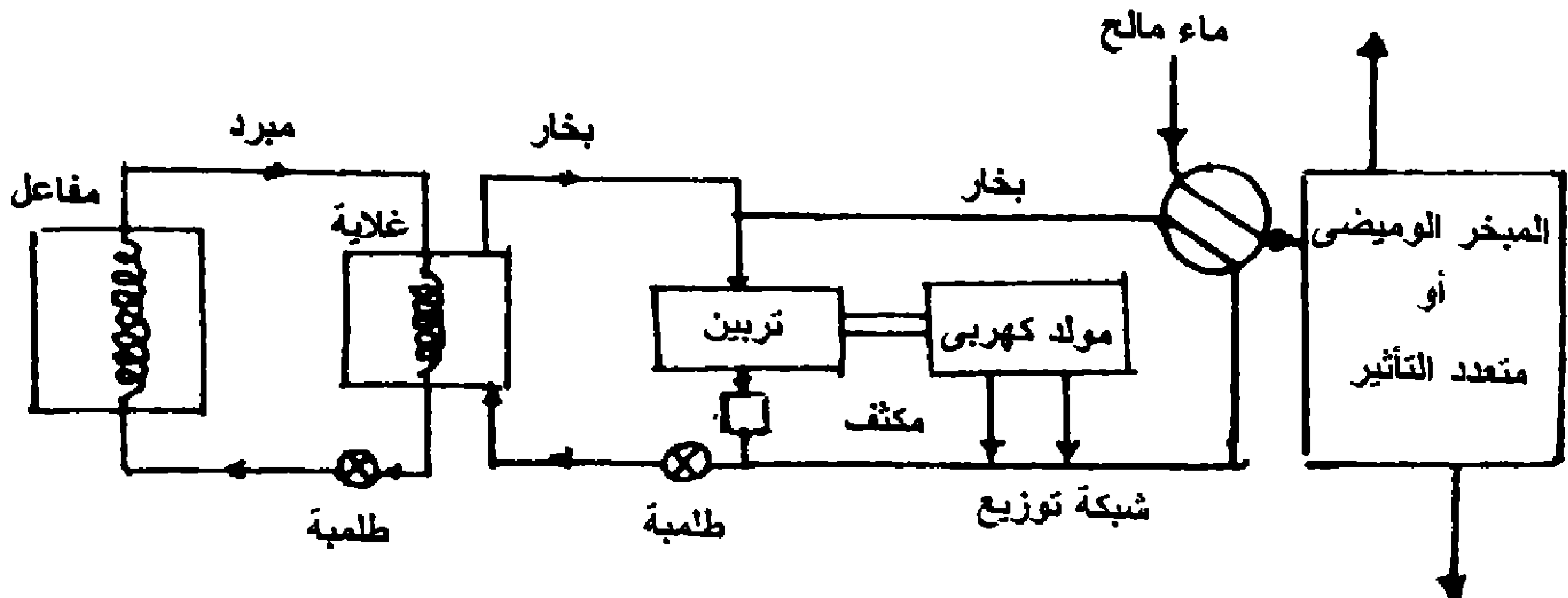
مفاعل الماء الثقيل للأبحاث له كمية ضخمة من المادة الانشطارية وتدفق نيوترون حرارى عالى (حيث التسرب صغير) يزيد عن مفاعل الماء الخفيف المصمم لنفس الطاقة. توزيع تدفق النيوترون الحرارى عبر القلب يكون مستويا نسبيا وبالتالى فإن هذا النوع يوفر حجم ضخم تجريبى عند مستوى تدفق عالى نسبيا.

الفصل الثالث عشر

توليد الطاقة بالمفاعلات النووية وإعذاب المياه المالحة

١- توليد الطاقة بالمفاعلات النووية:

عند تتبع الشكل (١/ ١٣) الذى يوضح مراحل توليد الطاقة بالمفاعل النووى: الحرارة المتولدة فى المفاعل تحمل بواسطة المبرد (سواء الهواء أو الهيليوم أو الماء الثقيل، أو الصوديوم السائل أو الماء العادى). فى المبادل الحرارى أو الغلاية، المبرد الذى اكتسب الحرارة من المفاعل يعطيها للماء حيث يغلى الماء. البخار الذى ينتج يستخدم فى تشغيل التربين المتصلة بمولد الكهرباء. المبرد والماء المكثف بعد التبريد يتم تدويرهم. أقصى طاقة منتجة فى المفاعل تتحدد بمدى السرعة التى يزيل بها المبرد الحرارة.



شكل (١/١٣) انتقال الطاقة من المفاعل النووى إلى شبكة الكهرباء ويوضح كذلك النظام الموحد لانتاج الطاقة الكهربية وتحلية المياه المالحة

فى حالة استخدام النظام المجمع (Combined System) لتوليد الطاقة وإعذاب المياه المالحة فإنه يستخدم جزء من البخار (الموجه لتشغيل تربين توليد الطاقة) للتسخين المسبق للماء المالحة قبل دخوله إلى محطة الإعذاب (التحلية) سواء كانت تعمل بطريقة المبخر متعدد التأثير أو المبخر الوميضى.

٢ - المواد المستخدمة فى مفاعلات الطاقة:

اختيار المادة المناسبة للعمل فى المفاعل هو من المهام الصعبة. رغم أن المعادن بمكن أن تحافظ على قوتها عند درجة الحرارة العالية إلا أنها يمكن أن لا تكون قادرة على تحمل

التصادم العنيف بالنيوترونات البطيئة والسريعة. التلف إلى يحدث للمعادن فى بيئة المفاعل - التلف الإشعاعى تم دراسته بالعديد من علماء المواد فى العالم. الآتى بيان بالمواد المستخدمة عموما فى مفاعلات التوليد وفى المفاعلات الحرارية

جدول (١٣/١) المواد المستخدمة فى مفاعلات التوليد وفى المفاعلات الحرارية:

العنصر	المفاعل الحراري	مفاعل التوليد
الوقود	أكسيد اليورانيوم المحتوى على اليورانيوم الطبيعي أو المخصّب	أكسيد اليورانيوم المخصّب أو أكسيد البلوتونيوم
وعاء الوقود	Zircalloy (سبيكة من الزركونيوم، القصدير، النيكل، الحديد، الكروم.	صلب مقاوم أوستينيت
المبرّد	الماء، خارج عند ٣٠٠°م	صوديوم سائل دخول عند ٤٠٠°م، وخروج عند ٦٠٠°م
المهدِّئ	ماء خفيف، أو ماء ثقيل	لا شيء
قضبان التحكّم	محلول حامض البوريك أو قضبان الهافينام	قبان وقود شكلية (Dummy) محتوية على البورون
الاحتواء	أنابيب ضغط من الزركونيوم و / أو وعاء ضغط من الصلب، غلاف خارجي من الخرسانة	وعاء ضغط من الصلب المقاوم مع آخر من الصلب المطاوع كغلاف ثم غلاف خارجي من الخرسانة

إمكانية الطاقة الكهربية من المفاعلات النووية:

أنواع المفاعلات المختلفة قادرة على تسخير واستخدام الشكل المركزى للطاقة الموجود فى الوقود النووى لإنتاج الطاقة. الطاقة التي يمكن استخلاصها من كمية معينة من الوقود النووى تتوقف على نوع المفاعل النووى المستخدم لحرق الوقود. من بين كيلوات من الطاقة الكهربية الكامنة والمتاحة فى كل كيلو جرام من اليورانيوم الطبيعى، فإن المفاعلات الحرارية قادرة على استخلاص 7×10^4 كيلوات من الكهرباء لكل كيلو جرام من اليورانيوم (حوالى ١٪). ولكن مقارنة بعدد ٢ كيلو وات من الكهرباء يمكن الحصول عليها من واحد كيلو جرام من الفحم أى ما يعادل حوالى (35×10^3) ضعف.

٢ - المواد المستخدمة فى مفاعلات الطاقة:

اختيار المادة المناسبة للعمل فى المفاعل النووى هو من المهام الصعبة. تنمية وتطوير تقنيات المفاعل النووى سوف يعتمد على حل المشاكل الهندسية وتوفر المادة التى تتحمل الظروف الصعبة داخل المفاعل. كحقيقة واقعة كثيرا من مصممى المفاعل الآن تعتبر "مشكلة المادة" أنها العامل الرئيسى المحدد لتطوير المفاعلات النووية. الوقود النووى يجب أن يكون مادة انشطارية مثل اليورانيوم أو البولتوينوم - مهدئات النيوترون يجب أن يكون لها كتلة ذرية منخفضة ومقطع امتصاص منخفض تحديدا الديتريوم، البريليوم، الجرافيت.. الخ. عناصر التحكم المستخدمة لتنظيم معدل الانشطار يجب أن تكون من مادة لها مقطع امتصاص كبير مثل البورون، الكادميوم، الهافنيام.. الخ. مواد التغليف (Cladding) لعناصر الوقود وجد لها تطبيقات هامة جدا للمعادن فى المفاعلات.

من المهم أن العناصر المذكورة تمتلك خاصية معينة مطلوبة. كذلك من المهم أن تكون لديها الخواص الذى تؤكد الكفاءة المطلوبة فى ظروف التشغيل والتى تستلزم مراعاة كل أو بعض المشاكل الآتية:

- نقاء المادة.
- القوة الميكانيكية.
- التآكل.
- التلف بالإشعاع.
- مكوث ناتج الانشطار.
- الانتقال الحرارى.
- الإجهاد الحرارى والزحف.

أ - بالنسبة لنقاء المادة فإن المعدن الذى يتم استخدامه لخاصية انخفاض مقطع اقتناصه للنيوترون يجب أن يكون خاليا من كميات كبيرة من الملوثات ذات المقطع الكبير. الملوثات فى مادة المفاعل يمكن أن تسبب خواص للمعدن تختلف عن تلك المطلوبة. إعداد المواد بحالة النقاء المطلوبة هو من الأعمال الصعبة وبعض الملوثات تقدر بكميات قليلة جدا (Trace Quantities) عدد كبير من العناصر التى تظهر مقطع كبير لاقتناص الملوثات يمكن أن تقلل من تدفق النيوترون للمفاعل، لذلك فإن صناعة مادة

المفاعل يجب أن يتم إحكامها بحذر مع استخدام تقنيات تصنيع خاصة لإزالة آخر آثار للملوثات معينة.

ب - رغم حقيقة أن كثيرا من المعادن يمتلك الخواص النووية المطلوبة، إلا أن استخدامها كمواد إنشاء في المفاعلات يكون محظورا بسبب عدم توفر خواص القوة العالية. لحسن الحظ، يكون من الممكن تصميم المفاعل بحيث إن يكون معظم الحمل يكون محملا على إنشاء غلاف الحماية (Shield) المصنوع عادة من الخرسانة. ولكن مواد معينة التي تحقق إنشاء جيد عند درجة الحرارة العادية يمكن أن لا تعمل بطريقة جيدة عند درجات الحرارة العالية لعمل المفاعل. في درجة الحرارة العالية للمفاعلات السريعة، يكون مقطع اقتناص النيوترون صغيرا، لذلك يكون اختيار المادة أكثر اتساعا ويمكن ان يتضمن المعادن والصلب عالى درجة الحرارة مثل الفاناديوم، الموليبدينوم، التنجستن، التاتالام (Tatalum) .. الخ. في المفاعلات الحرارية، عكس المفاعلات السريعة، يكون اختيار المعادن محدودا بالنسبة للبريليوم، الألومينوم، الصلب المقاوم، الزركوينوم. البورون ذو المقطع عالى الاقتناص أو أى مواد أخرى فى شكل سبيكة مع مادة عالية القوة يمكن استخدامها لتعمل كقضبان تحكم بالخواص الكافية. توجد مواد ذات نوعيات ضعيفة إنشائيا، إلا أنها تستخدم في المفاعلات النووية ذلك بسبب خواصها النووية الجيدة. نفس الشيء ينطبق على المواد المقاومة للتآكل كذلك. مواد الإنشاء للمفاعلات يجب أن يكون لها مقاومة تآكل جيدة، ذلك لأنها تعمل عند درجات حرارة مرتفعة في وجود مبرد مثل الماء، الماء الثقيل، ثانى أكسيد الكمربون أو معدن الصوديوم المنصهر. رغم أن الماء عند درجة الحرارة العالية ٣٥٠°م وعند الضغط العالى يكون شديد العدوانية إلا انه يمكن تداوله بأمان في سبيكة Zircalloy- 2. (وهى سبيكة من الزركوينوم والقصدير). بسبب أداء التآكل للمبرد على الوقود، فإنه يتم تغطية بمادة تغطية للحماية عندما يكون المطلوب مرور المبرد خلال مواد المهدئ والتغطية فإن مسارات المبرد يتم تبطينها بمواد مقاومة للتآكل، وذلك لمنع حدوث الالتصاق بين المبرد مع مواد التهدئة. الإشعاع النووى يمكن أن ينشط التآكل بين المواد التى تكون على نحو مرض فى الظروف العادية. نوع آخر من التآكل يسمى انتقال المادة، (Material Transport) والذى يحدث أحيانا عند استخدام مادتين منفصلتين للإنشاء فى خط المبرد. فى هذه

الحالات، فإن أحد المواد أو المكون السبائكى لأحد المواد يمكن أن يذيب مجرى المبرد ويعاد ترسيبه فى أجزاء أخرى من خط التبريد حيث تستخدم مادة إنشاء أخرى. هذا يسبب انسداد فى مسار المبرد بما يعيق تدفق المبرد.

جـ - التلف بالإشعاع:

نتيجة قذف المواد بالإشعاع النووى عالى الطاقة فقد يسبب ذلك تغيرات فى خواص المواد طبقا للمادة المعرضة للإشعاع. المواد الصلبة المعرضة لمثل هذه الإشعاع يمكن أن يحدث لها:

- خفض فى الكثافة.
- تغير فى الأبعاد.
- زيادة فى الصلابة.
- خفض فى المرونة.
- زيادة فى جهد الاستطالة.
- زيادة فى المقاومة الكهربية.

بينما تتأثر المعادن الصلبة أساسا بالنيوترونات، فقد وجد أن المركبات العضوية تتأثر بكل إشعاعات ألفا، بيتا، جاما.

د - نواتج الانشطار لكونها ذات طبيعة عالية الإشعاعية فإنه يلزم احتجازها فى المفاعل. بعض من نواتج الانشطار يحدث لها إذابة فى الوقود نفسه. عناصر الوقود تكون عادة معلبة " Canned" (مغطاة - Clad) بمادة حماية لغرضين، الأول لمنع تآكل الوقود بفعل المبرد، الثانى لمنع نواتج الانشطار من دخول المبرد. طبقة التبطين بسمك ٠,٠٠٥ بوصة تكون كافية لحجز فتات الانشطار. معادن التغطية (التبطين) (Cladding Metals) يجب أن توفر انتقال حرارى جيد وكذلك اقتصاد نيوترون جيد أى تمتلك مقطع منخفض للامتصاص الحرارى للنيوترون عدا بالنسبة لآخر المفاعلات.

بعض المعادن المستخدمة لتغطية (تبطين وعاء)

عناصر الوقود هى:

الصلب المقاوم	الألومنيوم (لمفاعلات الأبحاث)
الزركونيوم.	البريليوم

التنجستن	الفاناديوم
الموليدنيوم	السيراميك.

كل مواد التغطية يجب أن تكون غير نشطة (خاملة) للمبرد وخالية من الملوثات والإجهادات الزائدة التى يمكن أن تقلل مقاومتها للتآكل.

هـ - نظر لأن مفاعلات الطاقة تستخدم كمصدر للحرارة، لذلك فإن المواد التى تسرى خلالها الحرارة يجب أن يكون لها خواص جيدة للانتقال الحرارى. ينطبق ذلك بالتساوى لعناصر الوقود، التى تتولد الحرارة فيها، مادة التغطية التى يجب أن تسرى الحرارة خلالها إلى المبرد، ومادة الرباط التى تربط مادة التغطية مع عنصر الوقود، وطبيعى، المبرد نفسه. لحسن الحظ فإن معظم مواد الإنشاء المطلوبة فى المفاعل النووى هى معادن أو سبائك المعادن ذات خواص انتقال حرارى جيدة. استخدام المواد الخزفية بديلا عن المعادن يمكن من تحمل درجة الحرارة العالية، ولكنها لا تمتلك خاصة التوصيل الحرارى للمعادن. ضعف خاصية الانتقال الحرارى للمواد الخزفية يمكن التغلب عليها باستخدام (Ceramets) والتى هى المواد التى تجمع بعض الخواص للمواد الخزفية وبعض الخواص المعدنية.

و - المواد المستخدمة فى المفاعل يجب أن تكون قادرة على تحمل التدرجات الحادة الحرارية مع الاحتفاظ بشكلها المطلوب، حتى بعد الاستخدام لمدة طويلة عند درجة الحرارة العالية. مركز عنصر الوقود الذى يكون أكثر سخونة نسبيا يميل إلى التمدد أكثر من خارج عنصر الوقود، الذى يكون عند درجة حرارة أقل نسبيا. هذا الاختلاف فى الاستعداد للمتمدد بين مركز وخارج الوقود يسبب حدوث إجهاد خلال عنصر الوقود الذى يمكن أن ينتج عنه تشوية خارجى للشكل أو حتى التمزق. عناصر الوقود تصنع لتحتمل الإجهادات الحرارية التى تنشأ خلالها بطريقة التصنيع المحكمة لإعطائها بناء بللورى خاص (Crysrallographic). نوع خاص من الإجهاد الحرارى يسمى الصدمة الحرارية (THERMAL shock) يحدث، عند بدء أو إيقاف المفاعل أو التغير المفاجئ فى مستوى الطاقة. عند عمل المفاعل بانتظام فإن عنصر الوقود (أى أحد قضبان الوقود فى المفاعل النووى) يكتسب اتزان فى التدرج الحرارى. ولكن عند التوقف أثناء التبريد السريع لا يمكن أن يتحرر ذاتيا بسرعة كافية. ينتج عن ذلك ما يسمى بالصدمة الحرارية

والتـى يمكن أن تؤدى إلى تشوه أو تفتت الوقود أو أى مادة أخرى فى المفاعل التى يمكن أن يحـدث فـيها إجهـاد حـرارى. لـذلك فإنـه عند عمل المفاعل من المطلوب التحكم فى معدل بـدء التـشغيل أو الـتوقف ومـستوى الطاقة لخفض التلف بفعل الصدمة الحرارية. الحمايـة ضد تأثير الإجهاد الحرارى يمكن تحقيقها وذلك بعمل سبيكة (Alloying) من المواد الانـشطارية مع المعادن التى تمتلك خواص إجهاد حرارى أفضل. مواد السيراميت النقـية (ceramets) لكـونها ذات هـشاشة بطبيعـتها، فإن استخدامها يساعد فى خفض التأثيرات المدمرة للصدمة الحرارية فى نوع الوقود الخزفى.

الـزحف " Creep" أى استطالة وتشوه المادة تحت الإجهاد خلال فترة زمنية طويلة يمكـن أن يـسبب تغـيرات حادة فى خواص التشغيل للمفاعل بتوزيع المكونات الموضوعة بدقـة كـبيرة ومـصنعة لأقـرب تجـاوز. لـذلك فـإن الـزحف يجـب تجنبه فى كل أجزاء المفاعـل. يمكـن الـتحكم فى الزحف أو خفضه بالحذر من المادة نفسها، درجة الحرارة، الحمـل الـذى تتعـرض لـه المـادة وأبعاد المادة. سبائك الحديد الكروم النيكل والكروبالت مؤثـرة فـى خفـض الـزحف. اسـتخدام تـبريد إضـافى للمادة يمكن أن يضيف إلى خفض الزحف.

٣ - مبردات المفاعل: (Reactor Coolants)

نظـرا لأن كل الطاقة المنطلقة فى الانشطار تكون فى شكل حرارة، فإن المفاعل النووى يجـب أن يكـون له نظام التبريد المناسب الذى يمنع وصول درجة الحرارة إلى المستويات الغير مطلوبة والتلف. عموما يتم التبريد بتدوير مجال انتقال حرارى يسمى المبرد، خلال المفاعـل، ثـم خلال المبادل الحرارى الذى فيه يمكن إنتاج البخار لتشغيل التربين المتصل بمولد الطاقة الكهربية.

المبرد الجيد للمفاعل يجب أن تكون له الخواص الأساسية التالية:

- يجب أن يكون له طاقة استيعاب حرارية عالية.
- يجب أن يكون له مقطع امتصاص نيوترون منخفض.
- يجب أن يكون غير عدوانى لمواد وقود لب المفاعل

مواد الإنشاء والمهدئ.

- يجب أن تكون ثابتة عند التعرض للإشعاع.
- يجب أن تكون قادرة على العمل عند درجة الحرارة العالية.

المـواد يمكـن أن تكون أما غاز أو سائل ولكن العدد الى يحقق المتطلبات السابقة صغير جـدا. المـاء والمـاء الثقيل يعملا كمبرد ممتاز ذلك يسبب وظيفتها المزدوجة كمبرد للمفاعل وكـذلك كمهـدئ للنيوتـرونات. الـصوديوم المـسال أو خليط الصوديوم البوتاسيوم وجد أنه استخدم بـنجاح كمـبردات فى المفاعلات سريعة التوليد. البعض يستخدم مبردات غازية مثل الهواء، الهيليوم، ثانى أكسيد الكربون.. الخ.

١- الماء كمبرد:

الماء كمبرد استخدم على نطاق واسع فى المفاعلات النووية وذلك للمزايا الآتية:

- معامل الانتقال الحرارى جيد في أنواع معينة من مفاعلات الطاقة.
- يعمل كمادة تبريد وكمادة تهدئة.
- معدل تدفقه كافي بدون حدوث انخفاض فى الضغط.
- تم تطوير تقنيات المفاعلات بتبريد الماء.
- متوفر ومتاح بتكاليف قليلة.

عيوب استخدام الماء كمبرد فى أنواع معينة من مفاعلات الطاقة.

- لها مقطع كبير نسبيا لاقتناص النيوترونات.
- يتحلل عند التعرض إلى الإشعاع النووى.
- له درجة حرارة غليان منخفضة نسبيا عند الضغط العادى.
- لا يمكـن اسـتخدامه فـى المفـاعلات الحرارية المستخدمة للوقود المخصب بسبب ارتفاع مقطع اقتناص النيوترون.
- عدوانى عند درجات الحرارة العالية ويمكن أن يسبب وجود طبقة سطحية التى قد تكون مدمرة للانتقال الحرارى.
- عـند الاسـتخدام فى مفاعلات الطاقة التى تعمل عند درجة حرارة مرتفعة جدا، فإنـه يحـتاج إلى الانـضغاط، بمـا يـتطلب نظـام مواسـير خاص ومكلف وتصميم خاص للمبادل الحرارى.

ولـذلك فـإن اسـتخدام المـاء كمبرد يتطلب زيادة (مكلف) تحميل للوقود للتعويض عن الفقد للنيوترونات بالاقتناص.

٢ - الماء الثقيل كمبرد:

المـاء الثقيل يعتبر أفضل اختيار مقارنة بالماء (الذى يسمى الماء الخفيف). ذلك بسبب زيـادة تـأثيره نـسبيا فـى تهدئـة النيوترونات بسبب صغر مقطع الامتصاص. لذلك، فإن المفاعلات بالتبريد بالماء الثقيل لها معامل مضاعفة عالى، حجم أصغر، تدفق نيترون عالى فى اللب.

عـيوب المـاء الثقـيل هـو فـى تبخره وفى تكلفته العالية. بالنسبة للتكاليف، فإنه الماء الثقـيل لا يـستخدم كـثيرا فـى عملـيات المفاعـل، وبـذا، حـيث يمـثل الجزء الكبير فى الاسـتثمارات الـرأسمالية. وهـو مادة هامة جدا فى نظم المفاعلات المتجانسة السائلة. الماء الثقيل يلزم حمايته جيدا من أى تلوث الذى يعمل على تحلله.

٣ - المعادن السائلة كمبردات:

المعـادن الـسائلة هـى مـبرد جـيد للمفاعلات التى تعمل عند درجة حرارة عالية مثل المفاعلات السريعة (Fast Reactors) ولها المميزات الآتية:

- الثبات عند درجة الحرارة العالية.
- لهـا معامـل انـتقال حـرارة عالى الذي يقلل من حرارة الجدار والانتقال الحرارى لنفس الحرارة المنقولة.
- درجة حرارة غليانه عالية جدا.
- له طاقة حرارية عالية.
- ضـغط الـبخار عـند درجـات الحـرارة العالـية يكون قليلا إلى حد كبير عن ذلك للماء، حيث لا تكون هناك ضرورة لمعدة الضغط المرتفع.

ولكـن، المعـادن ذات درجـة الانـصهار المنخفـضة هـى فقـط التـى يمكـن أن تستخدم كمـبردات. الـصوديوم المنـصهر وخاصـة سبيكة الـصوديوم البوتاسـيوم استخدمت بنجاح كمـبرد. معـدن الـصوديوم ينصهر عند ٢١٠ درجة فهرنهيت (٩٨°م) وله توصيل حرارى يعـادل ١٤٠ ضـعف ذلـك الماء. سبيكة الصوديوم البوتاسيوم تتميز عن الصوديوم فى أنها تكـون سـائلة عـند درجـة حـرارة الغرفة، ولكن لها مقطع امتصاص نيوترون عالى نسبيا. الـسلبية الأخـرى أساسـا بـسبب النشاط الكيميائي العالى، حيث استخدامه يتطلب معدة تـداول مكلفـة جـدا وخاصـة تداول المعادن السائلة خطير وصعب حيث يحترق سريعًا في

الهـواء وتـتفاعل بعـنف مـع المـاء. بعض المعادن السائلة مثل الرصاص والرصاص البزمث تكـون شديدة العدوانية لمعدات الإنشاء عند درجات الحرارة العالية. اختيار سائل المعدن كمـبرد تملـيه ظـروف درجـة الحـرارة والـتآكل. ضـخ المعادن السائلة خلال نظام التبريد يـواجه مـشاكل عديـدة وتـستخدم طلمـبات خاصة مثل الطلمبات الكهرومغناطيسية لهذا الغرض ذلك لأن العزل (Sealing) والتصميم يكون معقدا للطلمبات الميكانيكية التى يمكن استخدامها كبديل. ولكن الطلمبات الكهرومغناطيسية المبنية على القوة المنتجة من موصل فـى مجـال مغناطيـسي لا تحـتاج إلى أى أجزاء دوارة ميكانيكيا ملتصقة مع سائل المعدن وبـذا تختفـى كلـية مشاكل التحميل والعزل. حتى أن وجود قليلا من الأكسيد فى المعدن السائل لا يؤثر على كفاءة الطلمبة.

٤ - الغازات كمبردات:

كـثيرا مـن الغـازات مـثل الهـواء، الهيلـيوم، ثانـى أكـسيد الكـربون، النـيتروجين، الهـيدروجين.. الخ يمكـن اسـتخدامها كمـبرد للمفاعـل وخاصـة تلـك التـى تعمـل عـند درجـات الحـرارة العالـية مـثل الـصواريخ النووية. درجة حرارة التحلل الحرارى للمبرد الغـازى هى عموما أعلا من كل المعادن السائلة وهى أعلا من أقصى درجة حرارة تشغيل لكل المفاعلات تحت التصميم والتى تتحدد أساسا باعتبارات مادة الإنشاء:-

المميزات العامة للمبردات الغازية:

- يمكن استخدامها فى المفاعلات التى تعمل عند درجات الحرارة العالية جدا.
- الحرارة المرتفعة للمبرد ينتج عنها كفاءة حرارية عالية.
- المفاعل يمكن أن يعمل عند ضغط متغير بالمحافظة على ثبات درجة الحرارة.
- ثانى أكسيد الكربون خامل بالنسبة لمواد الإنشاء فى اللب.

ولكن عيوب المبردات الغازية هى:

- يلـزم نافخـات قـوية لتدويـر كمـيات ضـخمة مـن الغاز، بما يزيد من استهلاك الطاقة.
- يسبب زيادة استهلاك الطاقة تكون الكفاءة الكلية منخفضة.
- معامـل الانـتقال الحـرارى للغـازات صـغير جـدا، لـذلك فإنها قد لا تتوافق مع متطلبات الطاقة لاعتبارات اقتصادية.
- الأكسجين والنيتروجين لهم عدوانية التآكل عند درجة الحرارة العالية.

الهيليوم رغم ندرة وفرته بكمية كبيرة، تكلفته، إلا أن له توصيل حرارى عالى، امتصاص النيترون مهمل، خامل كيميائيا تماما وثابت عند التعرض للإشعاع، يمكن استخدامه لنظام الدورة المقفلة ويتطلب مبادلات حرارية ضخمة.

الهواء ليس مادة جيدة للتوصيل الحرارى ويميل إلى التفاعل مع المعادن الملتصقة به. ولكنه غير مكلف ومتوفر، ويمكن أن يكون مبرد مثالى لنظام الدورة المفتوح لكل من مفاعلات الطاقة النووية الثابتة والمتحركة. يستخدم الهواء كمبرد لمفاعل (Harvell) فى إنجلترا. الهيليوم يتفوق على Co_2 كمبرد بسبب المعدل العالى للانتقال الحرارى وصغر مقطع الامتصاص. ولكن Co_2 متاح وغير مكلف.

مفاعل أبحاث فى فرنسا استخدم النيتروجين كمبرد عند ١٠ ضغط جوى.

٤ - عناصر التحكم فى المفاعل: Reactor Control Elements

التفهم الكامل لإحكام المفاعلات النووية يتطلب معلومات عن طبيعة التفاعل المتسلسل. نسبة متوسط عدد النيوترونات المنتجة فى فترة زمنية معينة إلى متوسط العدد الممتص أو التسرب، يسمى معامل التضاعف المؤثر للمفاعل. إذا كان أكبر من واحد، فإن المفاعل يكون فوق الحرج (Super Critical) إذا كان يساوى واحد، فإنه يسير بحالة ثابتة (أى مفاعل حرج)، إذا كان أقل من واحد، فإن التفاعل المتسلسل يتوقف. مستوى الطاقة فى المفاعل النووى يتم إحكامها بضبط تدفق النيوترون بتحريك قضبان من مواد ماصة لنيوترون. قضبان التحكم هذه تنظم تدفق النيوترون فى المفاعل طبقا لدرجة غرسها فى قلب المفاعل.

قضبان التحكم يمكن تقسيمها (طبقا لغرضها الحقيقى) كالآتى:

- قضبان الأمان Safety Rods
- قضبان الحشو Shim Rods
- قضبان التنظيم Regulating Rods
- قضبان الحشو للأمان Shim - Safety Rods

ولكن قضبان التحكم تسبب عدم تجانس الفقد للوقود النووى (Burn up) وكذلك فقد النيوترونات الثمينة. الخفض الكامل فى النشاط بواسطة قضيب التحكم يكافئ إجمالى زيادة النشاط الضرورى لمقاومة تسمم ناتج الانشطار، الفقد فى الوقود النووى والتسمم من

التجهيزات التجريبية التى تم إيلاجها (Inserted) ، أحيانا، فى لب المفاعل قليلا. البورون بماله من مقطع امتصاص عالى (750 Barns)، (Barn = وحدة مساحة تساوى ١٠^-٢٨ متر مربع) نقطة انصهار عالية (٢٣٠٠°م) هو المادة المستخدمة غالبا لإحكام القضيب. كذلك الكادميوم يكون مطلوبا من وجهة نظر مقطع الامتصاص ولكن نقطة انصهاره المنخفضة (٣٢١°م) يجعل هذه المادة أقل من الناحية العملية. كذلك استخدام الهافنيام (Gadolinium Oxide) لقضبان التحكم.

١ - قضبان الأمان: (Safety Rods):

تستخدم قضبان الأمان لتوفير نشاط سلبى عالى، تحت طل ظروف التحميل الممكنة والظروف العادية المتوقعة للمفاعل، مع كل القضبان الأخرى فى أقصى وضع نشاط موجب. تصمم القضبان وما يصاحبها من آليات التشغيل لتغيير التفاعل والنشاط (Reactivily) فى الاتجاه الموجب عند حوالى ٠,١٪ فى الثانية، وليتحرك خلال كل مشواره قبل تحرك قضبان الحشو (حيث المفاعل يظل دون الحرج). هذه عادة يتم تثبيتها بمزلاج مغناطيسي (Magnetically Latched) فى أوضاع جاهزة للخفض السريع للنشاط. القضبان المدمجة عادة يتم رفعها بكابل يعمل بمحرك يرفع بدواسة القابض (Clutches) المصممة لتحرير القضيب للانصراف (Scram) بما ينتج عنه خفض سريع فى النشاط. يستخدم ممتص الصدمات لمنع التلف للقضيب وإنشاءات الحمل. قضبان الأمان تعمل فوراً فى حالة الطوارئ بإيقاف المفاعل.

٢ - قضبان الحشو: Shim Rods

تستخدم قضبان الحشو لإحكام النشاط بكميات تتوقف على الغرض من المفاعل وتشغيله. زيادة النشاط أثناء عمل المفاعل يتم امتصاصها بواسطة قضبان الحشو. بينما عند بدء تشغيل المفاعل، يتم سحبها إلى الخارج لتوضع بدقة فى المفاعل للمحافظة على استمرار ثبات مستوى الطاقة. يمكن ضبطها بعد ذلك بهدف التعويض عن تسمم ناتج الانشطار فى اللب. قضبان الحشو تتحرك فى كل من الاتجاهات موجبة النشاط وسالبة النشاط.

٣ - قضبان التنظيم:

تستخدم قضبان التنظيم للتحكم الدقيق فى تغيرات النشاط وذلك بامتصاص نسبة قليلة من النشاط التى سببها متوسط التغير الصغير فى درجة الحرارة، الضغط، كثافة

مادة الوقود. أقصى نشاط يحكم بهذا القضيب يعلق إلى إجمالى ٠,٦٪ أو أقل، طبقا لقدرة نظام الأمان لمنع التغيرات الخطيرة لتدفقات المفاعل.

٤ - قضبان الحشو للامان: Shim - Safety Rods

تلك القضبان تستخدم فى كثير من المفاعلات لأنها تجمع اداء كلا من الجانبين قضبان الأمان وقضبان الحشو بتحريك القضبان ببطء فى اتجاه تغيير النشاط الموجب أو السالب. سرعة الانصراف الفورى عالية ما أمكن مع ماصات للصدمات منظمة لإيقاف القضبان عند نهاية المشوار. تحرك قضبان التحكم يمكن أن يحدث أفقيا، رأسيا أو فى شكل قوس طبقا لتصميم المفاعل. فى حالة الزيادة المفاجئة أو فى الطاقة فى المفاعل أو عند حدوث زلزال، فإن قضبان التحكم تعمل فى الحال (خلال ٥ ثوان) إيقاف المفاعل. انتفاخ الأجزاء الخارجية للمفاعل نتيجة زيادة التسرب الحرارى يحدث بسبب وجود قضبان التحكم. بهدف الحصول على انتظام تدفق الإليكترون فى المفاعل عالى الطاقة، يتم توفير حزمة من قضبان التحكم. بالنسبة لمفاعلات الأبحاث ذات الطاقة الصغيرة، فإنه يكفى قضيب تحكم واحد موضوعا فى المركز لتلبية المتطلبات. عناصر التحكم فى النشاط يتم إدارتها إما بمحركات كهربية أو بمحركات هيدروليكية. تستخدم المغنطيسات للامساك بقضبان التحكم أو بقضبان التحكم والحشو. آلياً مثل زنبركات الصلب.. اله يتم توفيرها للتحرر السريع للقضبان لتوفير أداء سريع لقضبان الأمان هذه.

ضبط كمية الوقود والمبرد، والمهدئ فى اللب يمكن كذلك أن تحكم تدفق الإليكترون فى اللب إلى حد ما.

٥ - اختيار موقع مفاعل الطاقة النووية:

اختيار الموقع المناسب لمفاعل الطاقة النووية هى أساسا مشكلة أهمية الموقع للمفاعل لتأمين كلا من المفاعل والمجتمع المحلى. الاعتبارات البيئية تكون ذات أهمية بالغة بالنسبة لاختيار موقع المفاعل.

عموما الموقع النموذجى لمحطة المفاعلات النووية يجب أن يحقق الآتى:

- بعيدًا عن مراكز التجمع السكانى وليس به سكان.
- ليس به أى مصادر سواء مواد معدنية أو قيمة عسكرية.
- مساحة لا تقل عن كيلو متر مربع.

- مستوية إلى حد ما وذات سعر منخفض نسبيا.
- تكاليف تطوير الموقع تكون منخفضة.
- قريبا من مصدر مياه كبير مثل الأنهار.
- قريبا فى الارتفاع للإمداد بالمياه لخفض تكاليف الضخ.
- ذات قيمة زراعية منخفضة.
- فى مكان له ثبات جيولوجي بالنسبة للأساسات.
- فى منطقة ذات مناخ جيد.
- بعيدة عن مخاطر الزلازل.
- قريبة من مراكز توفير العمالة.
- قريبة من مراكز التحميل لتوفير خطوط نقل قصيرة وذات كفاءة عالية.
- خالية من المواد الخطرة الطبيعية والصناعية.

وفى حالة عدم التوافق لتحقيق كل تلك المتطلبات فإنه يتم الموازنة بين كل المواقع لتحقيق أقصى المتطلبات.

٦ - النظام الموحد لتحليه المياه المالحة:

Combined System for Desalination of Saline Water

فى هذا النظام المستخدم على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للاستخدام للشرب أو الرى الأراضى أو للاستخدام الصناعى أو الخدمى، هو نظام التقطير الحرارى. فى هذه الطريقة يستفاد بالطاقة الحرارية المصاحبة للبخار الذى استخدم فى تشغيل تربينات توليد الطاقة الكهربائية وذلك للتسخين المسبق للماء المالح قبل دخوله إلى جهاز التحلية إلى درجة حرارة الغليان (١٠٠°م) ويسمى هذا النظام بالنظام الموحد لإنتاج الطاقة الكهربية وتحلية المياه المالحة.

فى هذا النظام متعدد التأثير (Multi Effect System) موضحة فى الشكل (١٣/١).

المياه المالحة من ملوحة ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون يتم تسخينها بالتدريج بطريقة المبادلات الحرارية، بواسطة تكثيف البخار فى عدد مساو من غرف التبخير الأكثر سخونة، عند درجات حرارة ما بين ٦٠ - ١٠٠°م عادة، ثم تبخر جزئيا بواسطة بخار من مصدر خارجي والذى هو فى حالتنا هذه بخار الماء بعد استخدامه فى تشغيل التربينات المولدة للطاقة الكهربية. البخار الناتج يمر إلى المؤثر الثانى. فى الوقت نفسه

فإن المياه المالحة التى لم يتم بتبخيرها فى المؤثر الأول تدفع (Flushed) إلى المؤثر الثانى. يحدث تبخير آخر فى المؤثر الثانى عند درجة حرارة أقل من المؤثر الأول نظرا للانخفاض فى الضغط الناتج عن التكثيف. يحدث هذا التكثيف ما بين البخار الداخل والمياه المالحة الحرره من الضغط. ثم يكرر العمل فى كل من المؤثرات التالية والتى يصل عددها إلى أقل من عشرة. طاقة الضخ اللازمة للمبخر متعدد التأثير هى عادة ٢ – ٣ كيلوات سعة لكل متر مكعب من المياه.

المياه المعالجة بالطرق الحرارية تحتاج إلى معالجات خاصة لتجنب حدوث الترسبات، وكذلك تحتاج إلى ضبط الرقم الهيدروجيني قبل الاستخدام لإزالة آثار المعالجات الكيمائية المسبقة قبل التبخير.

٧ - تحليل التكلفة: Cost Analysis

التكاليف الرأسمالية الأولية لمحطة الطاقة النووية أكبر من محطة الطاقة الحرارية بنفس السعة، ولكن تكاليف التشغيل أقل كثيرا. رغم تكاليف الإنتاج المنخفضة، إلا أن الاستثمارات العالية فى محطة الطاقة النووية تكون أحيانا متشبثة بها. فى نظام توليد بالطاقة النووية تكون التكاليف الرأسمالية مطلوبة للوحدات ذات العلاقة كذلك لإنتاج الماء الثقيل، تخصيب اليورانيوم، وتجهيز المهمات اللازمة لنشاط دورة الوقود.

محطات الطاقة المائية هى الأقل تكلفة للتشغيل ذلك لعدم استخدام أى وقود ولكن الاستثمارات الأولية مرتفعة إلى حد ما. مع زيادة طاقة الإنشاء للوحدة فإن الاستثمارات الرأسمالية تقل كثيرا. تكاليف وحدة الطاقة كيلوات سعة فى حالة المحطة الحرارية هى أساسا دلالة لسعر الوقود بالطن. مع زيادة طاقة وحدة واحدة فإن تكاليف الطاقة تقل لكل من المحطات النووية والحرارية.

عند مقارنة تكاليف المحطة النووية والمحطة الحرارية تكون المقارنة لصالح النووية.

التكاليف الرأسمالية للمفاعلات المتجانسة والمفاعلات بالجرافيت وبتبريد الغاز أكثر قليلا عن المفاعل الذى يعمل بالماء للتبريد وللتهدئة. تكاليف إنتاج الطاقة بالمحطات النووية هو نفسه بصرف النظر عن نوع المفاعل.

للحصول على خفض في تكلفة الطاقة النووية يكون من المهم خفض تكلفة الوقود وكذلك التكاليف الرأسمالية. التكاليف المنخفضة للوقود يمكن الحصول عليها بنوعين من المفاعلات وهما المفاعل المولد (Breeder) والمفاعل المحول (Converter).

يبدو أن الطاقة النووية تنافس اقتصاديا توليد الطاقة بالوقود الحفري، رغم ارتفاع التكاليف الأولية للطاقة النووية، إلا أن تكاليف الوقود الذى يحرق تكون أقل عن تكاليف الفحم أو الزيت اللازم لإنتاج نفس الكمية من الطاقة. بناء محطات الطاقة النووية ذات الطاقة العالية والعمل عند أحمال عالية سوف يقلل من تكاليف الطاقة المنتجة.

الفصل الرابع عشر

دورة الوقود النووى

١- إعادة تصنيع الوقود المستهلك : (Reprocessing Of Spent Fuel)

المعالجة الكيميائية للوقود بعد الإشعاع فى المفاعلات النووية له أهمية من وجهة نظر اقتصاديات الطاقة، رغم أنه لا يمثل جزء إضافى من عمل معظم المفاعلات النووية. أثناء تشغيل المفاعل النووى يوجد تراكم تدريجى من ناتج الانشطار ذو الوزن النووى المنخفض الذى تضع نفسها خلال البناء الشبكى للوقود أو السبيكة فى عنصر الوقود (قضيب الوقود). يسبب زيادة تراكم نواتج انشطار أثناء عمل المفاعل، فإن الكفاءة الكلية للمفاعل تنخفض نظرا لأن نيترونات أكثر وأكثر يتم اكتساحها من التفاعل المتسلسل بمقطع الامتصاص العالى لنواتج الانشطار والتى تلطف مكونات الوقود وتغير خواص عنصر الوقود. بجانب التراكم المستمر لنواتج الانشطار الغازية مع الوقود نفسه التى تسبب التشوه خلال الوقود. لهذه الأسباب، يكون من المرغوب فيه إزالة الوقود من المفاعل عند مراحل معينة لإزالة تراكمات نواتج الانشطار، استرداد المادة الانشطارية التى لم تحترق ومعالجة هذه المادة الانشطارية ثانيا لتكون وقود ثمين ذو أبعاد نسبية محددة.

الوقود المستهلك نظرا لكونه مشعًا بطبيعته بسبب وجود نواتج الانشطار الإشعاعية فإنه عادة يسبب مشاكل فى معالجته، يكون من المرغوب فيه السماح للوقود العادم بالتبريد لفترة قصيرة من الوقت قبل تداوله بواسطة تقنيات تجهيز تعمل عن بعد فى وحدة الفصل.

عموما، توجد طريقتين، لإعادة صلاحية الوقود المستهلك من المفاعل الحرارى لاستعادة البلوتونيوم، الوقود الغير محترق ونواتج الانشطار المفيدة.

الطريقة السائلة (aqueous Method) :

هذه الطريقة هى الأكثر ملائمة للوقود بالاحتراق المنخفض (انخفاض الفقد فى الوقود النووى - Burntup) تشمل تبريد الوقود المشع لمدة ٣ - ٤ شهر يلى ذلك:

- إزالة طبقة التغطية أو التبطين وإذابة الوقود.
- فصل فتات الانشطار (Fission Fragments) من اليورانيوم والبلوتونيوم.
- فصل وتنقية البولتونيوم واليورانيوم باستخدام الاستخلاص بمذيب.

- تحويل محاليل البلوتونيوم واليورانيوم التى تم تنقيتها إلى الأكسيد أو المعدن.

الطريقة الغير سائلة : Non - aqueous Method

هذه الطريقة تشمل أساسا نوعين:

- **طريقة تبخر الفلوريد عند درجة حرارة منخفضة نسبيا (١٠٠°م).**
- الطريقة الحرارية المتاليرجية عند درجة الحرارة العالية (قريبا من نقطة غليان الوقود).

طريقة تبخر الفلوريد (Floride Volatility Method)

تستخدم هذه الطريقة خاصية التبخر العالى لهكزا فلوريد اليورانيوم (Uranium Hexaflouride) (UF_6) لفصل اليورانيوم من البلوتونيوم ونواتج الانشطار. يتم فلورة الوقود المستهلك باستخدام (BF_3) ويتم الحصول على اليورانيوم فى شكل (UF_6) الخالى من البلوتونيوم ومعظم نواتج الانشطار، بالتبخر المحكم الذى يليه التكثيف. بعض من نواتج الانشطار مثل التيريليوم، الموليدنيوم، الزرينخ التى تكون فلوريد متطاير ثابت يمكن إزالتها بالتقطير الجزئى. هذه الطريقة لا تنتج فصل للبلوتونيوم. البلوتونيوم يمكن استعادته من مخلفات الفلوريد بالطريقة السائلة.

الطريقة الحرارية الميتاليرجية :

تستخدم هذه الطريقة أساسا على مستوى صغير بسبب التآكل ومشاكل المعدات، بعض العمليات الحرارية الميتاليرجية سيتم وصفها كالآتى:

*** طريقة استخلاص المعدن المنصهر :**

تستخدم هذه الطريقة المعادن المنصهرة مثل الفضة والمغنسيوم (و هذه لا تذوب مع اليورانيوم) لاستخلاص اليورانيوم ونواتج الانشطار من اليورانيوم المشعع. يتم صهر الوقود المستهلك تحت التفريغ والتصاقه مع الفضة المنصهرة. خلاصة مستخلص (Extract) الفضة المحتوية على البلوتونيوم ونواتج الانشطار الغير متطايرة يتم إزالتها والتصاق بمصهور كلوريد الفضة - كوريد الصوديوم لتنقية الفضة للتدوير. البولتونيوم يتم استعادته من المجال الملحى.

* **طريقة التبخير بالتفريغ (Vacum Volatalisation Method) :**

فـي هذه الطريقة الوقود المستخدم المنصهر يتم تقطيره تحت التفريغ لفصل البلوتونيوم ونواتج الانشطار من اليورانيوم. نواتج الانشطار الأكثر تبخرا مثل إكزيتون، الاسترنشيوم، الـــسيزيوم، الـــيود.. الخ تـــزال أولا والـــتقطير عـــند درجـــة حـــرارة أعـــلا (حوالى ٦٨٠°م) يزيل البلوتونيوم.

* **طريقة التبلر الجزئى :**

تعمـل هذه الطريقة على مبدأ الاختلافات فى إذابة اليورانيوم والبلوتونيوم فى مصهور مثل الزنك، الكادميوم، الزئبق، الرصاص.. الخ.

* **طريقة رغوة (خبث) الأكسيد :**

تـستخدم الطريقة الأكسدة التفضيلية لبعض نواتج الانشطار مثل الاسترنيثوم، الباريوم ومعـادن التربـة الـنادرة (عـند إضـافة كمـية محكمـة مـن الأكـسجين إلى مـصهور الوقـود المـستخدم) الـذى يمكـن إزالـته ميكانيكـيا. ولكن بعض نواتج الانشطار مثل الزركونيوم، النيوبيوم، المولبدينوم لا تزال فى هذه الطريقة.

* **طريقة التنقية الكهربية :**

تهـدف هـذه الطـريقة إلى فـصل البلوتويـنوم ونـواتج الانـشطار مـن الوقـود المـستهلك باسـتخدام التنقـية الكهـربية عـند درجـة حرارة عالية فى البكتروليت من الملح المنصهر. اليورانـيوم يرسب عند الكاثود بينما نواتج الانشطار تظل فى الملح أو تتجمع كراسب عند الآنود. البلوتونيوم الذى يظل فى الملح يمكن إزالته بالتبخير.

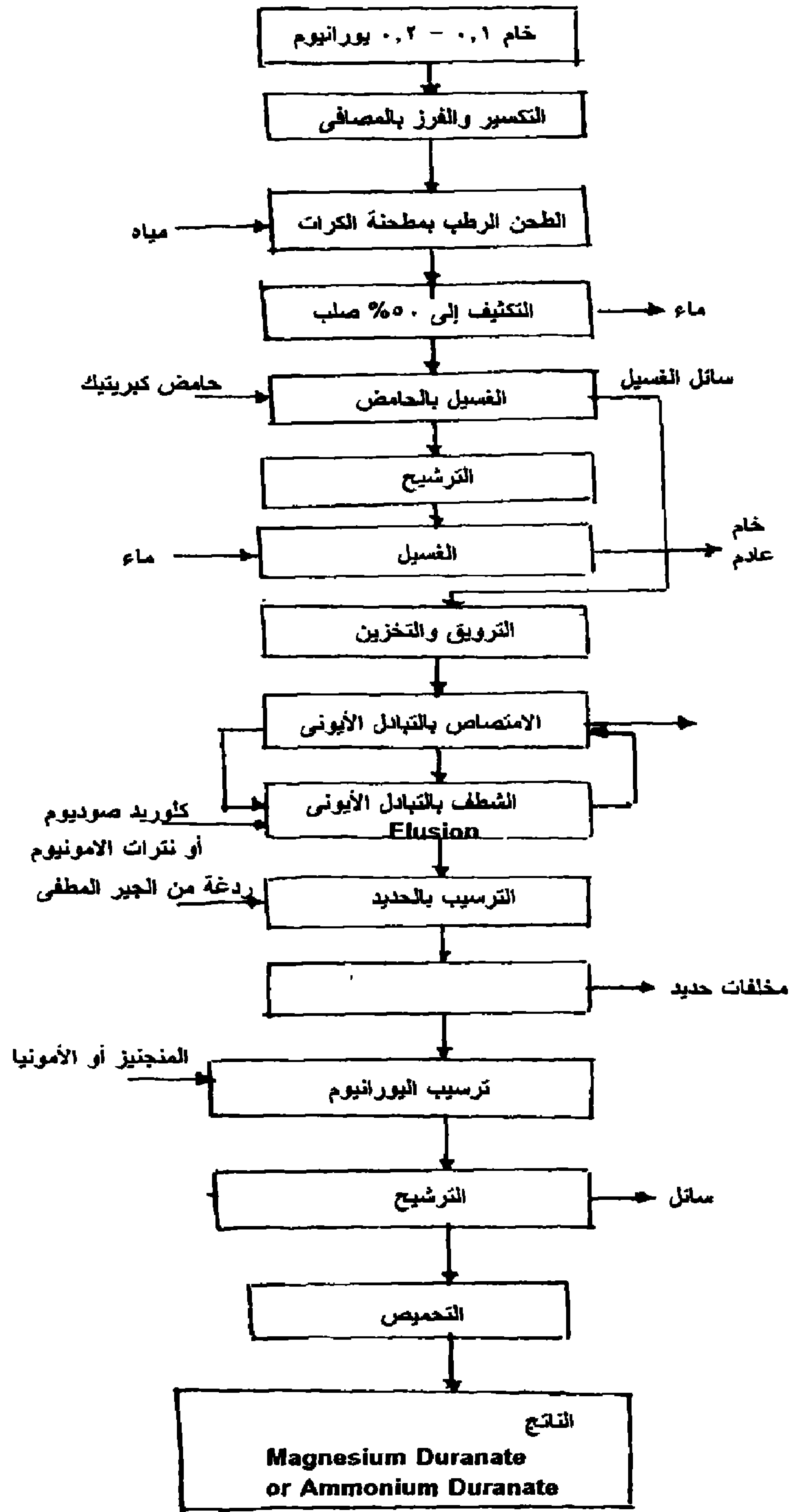
معظم عمليات إعادة تصنيع الوقود المستخدم تكون مكلفة فى العمل، ولكن نظرًا لكون المـادة الانـشطارية الغير محترقة مادة ثمينة، فإن البلوتوينوم ونواتج الانشطار فى الوقود المستهلك يجعل من هذه العمليات أنها مبررة.

٣ - دورة الوقود النووى : Nuclear Fuelcycle

الوقـود الـنووى بدءا من استخراج خاماته من المنجم إلى التخلص النهائى، يحدث له العديـد مـن العملـيات والمعالجات. التصور الكامل لهذه الظاهرة موضح فى مخطط يسمى دورة الوقود النووى.

خام اليورانيوم الذى يحتوى عادة على كمية قليلة جدا من اليورانيوم، يتم استخراجه من المنجم وتركيزه بعمليات مثل الغسيل (Leaching)، الترسيب، الاستخلاص بالمذيب والتبادل الأيوني، في موقع المنجم نفسه لخفض تكاليف النقل. اليورانيوم المركز بعد إزالة الملوثات غير اليورانيوم عادة بعد الاستخلاص بمذيب يرسل إلى وحده تصنيع عنصر الوقود (قضبان الوقود). جزء من اليورانيوم حيث يتم إخصابه بمحتوى من (U-235) الانشطاري. اليورانيوم المخصب يمكن إرساله إلى وحدة تصنيع قضبان الوقود التى تنتج قضبان وقود مخصبة لإرسالها إلى مفاعلات معينة لتوليد الطاقة منخفضة التكاليف.

لإنتاج اليورانيوم. يتم غرس قضبان الوقود في المفاعل ويتم بدء المفاعل. المبرد يلتقط الحرارة المتولدة خلال المفاعل. وينتج بخار في وعاء الذى يدير التربين المتصل بمولد للطاقة الكهربية، حيث تنقل الطاقة المولدة إلى شبكة الكهرباء. والوقود بعد الحرق (خفض عدد الذرات) يتم تفريغها من المفاعل. العوامل التى تحدد الوقت الذى عنده يجب تفريغ المفاعل من قضبان الوقود هى التلف الميكانيكي بسبب تفاعل الانشطار، التعرض لإشعاع كثيف، الفقد في النشاط (الإشعاعية) النووية بسبب حرق المادة الانشطارية. وتكون سموم ماصة للنيوترون. زمن التشعيع (Irradiation) النموذجى يمكن أن يكون حوالى عام. الوقود المستهلك الذى يكون شديد الاشعاع بسبب وجود نواتج الانشطار يحتوى على كميات كبيرة من مواد خصبة (Fertile) ومن مواد انشطارية (Fissile)، والتى يلزم استعادتها من وجهة نظر الاقتصادية لتوليد الطاقة. عموما الوقود المستهلك يتم تخزينه لمدة ٣ - ٤ شهور (بحيث يموت بعض من نشاط الإشعاعى)، وذلك قبل معالجته. اليورانيوم الغير محروق والبلوتونيوم المحول يرسل ثانيا إلى وحدة تصنيع قضبان الوقود. نواتج الانشطار طبقا لمدى الاستفادة منها إما أن يتم التخلص منها بعد التنقية أو التخزين. المخلفات المشعة المنتجة في إعادة المعالجة يتم التخلص منها طبقا لطرق السابق ذكرها وطبقا لمستوى نشاطها الإشعاعى.



شكل (١٤/١) إنتاج اليورانيوم المركّز

٤- إثراء أو إخصاب اليورانيوم: Enrichent Of Uranium

اليورانيوم الطبيعي يحتوى فقط على ٠,٧١٪ من اليورانيوم – ٢٣٥ والذى هو مادة انشطارية، الباقي يورانيوم - ٢٣٨ الخصب (Ferttile). لذلك فإن أدنى كتلة لليورانيوم الطبيعي اللازمة لاستمرار التفاعل المتسلسل (أى الكتلة الحرجة) تكون كبيرة جدا. لذلك فإن تركيز اليورانيوم - ٢٣٥ فى اليورانيوم الطبيعى يتم زيادته بعمليات صناعية لإنتاج اليورانيوم الثرى أو المخصب (Enriched). فى الهند تستخدم مفاعلات الطاقة يورانيوم مخصب حتى ٣٪ من U-235 والذى تستورده من الولايات المتحدة، واليورانيوم المخصب بنسبة ٨٥٪ تستورده من فرنسا لمفاعلات الاختبار سريعة التوليد.

حتى الزيادة القليلة فى تركيز النظير الانشطاري (U-235)، من ٠,٧١٪ لتوفير الزيادة فى المرونة فى تصميم المفاعل ويوفر زيادة كبيرة فى الحرق (خفض عد الذرات). الزيادة فى تركيز المادة الانشطارية قد يكون بسبب ذرات U-235 أو ذرات Pu-239، الميزات للأخيرة هى أنه لا توجد حاجة إلى وحدة فصل النظير. ولكن إخصاب اليورانيوم كما هو يعنى زيادة تركيز U-235 فى اليورانيوم الطبيعى – المرونة فى تصميم المفاعل لحرق اليورانيوم المخصب يتم تخفيفها بسبب حقيقة أن الذرات الانشطارية توفر مصدر إضافى للنيوترونات الزائدة الكبيرة فى عدد النيوترونات المتصة. تلك النيوترونات الزائدة الإضافية تسمح بزيادة مجال الاختيار للمواد المستخدمة فى المهدئ، قضيب الوقود، المبرد، الإنشاء. بجانب تسهيل التغيرات فى التنظيم الهندسى للب المفاعل، والذي يؤثر على معامل التحوّل. بعض الميزات الأخرى لاستخدام اليورانيوم المخصب فى المفاعل الحرارى هى:

- تقليل حجم المفاعل.
- خفض التكاليف الرأسمالية للمفاعل.
- زيادة عمر الوقود أي خفض التلف للنيوترونات.
- زيادة فى خرج الطاقة لوحدة الكتلة من الوقود.

طرق الإثراء أو الإخصاب:

كفاءة عامة توجد ستة طرق لإخصاب اليورانيوم هى:

- عملية الانتشار الغازى (Gaseous Diffusion)

- عملية الانتشار الحرارى (Thermal Diffusion)
- عملية الطرد المركزى للغاز (Gas Centrifuge)
- عملية الإثراء الكهرومغناطيسية (Electromaantic)
- عملية الإثراء باليزبورز (Nozzle Enrichment)
- عملية الإثراء بالليزر (lazer Enrichment)

١- عملية الانتشار الغازى:

هذه العملية مبنية على مبدأ أن الجزئيات الأثقل فى خليط الغاز، التى تكون دائما فى حركة عشوائية، تسير ببطء أكثر عن الجزئيات الأخف. عند تحويل اليورانيوم الطبيعى إلى غاز اليورانيوم هكذا فلوريد (UF_6) ويتم ضخه إلى غرفة مقسمة إلى جزئين، احدهما يظل عند ضغط أقل قليلا عن الآخر وكلاهما له مخرج. مع ضخ غاز (UF_6) خلال الجزء عالى الضغط فإن نصفه ينتشر نحو الجزء منخفض الضغط خلال الحاجز. الغاز الذى يتم الجزء منخفض الضغط نرى أنه أكثر ثراء فى U-235 والغاز الذى يتم الجزء ذو الضغط الأعلى يقابله انخفاض في هذا النظير ذلك بسبب حقيقة أن جزئيات (U^{236} F_6) تكون أخف وأسرع وأكثر مرونة ولذا تكون فرصتها أفضل للمرور خلال الحاجز وعامل الفصل، قياس التركيز الذى يتحقق بمرحلة واحدة لأى عملية تركيز لانتشار UF_6 يساوى ١,٠٠٤٣. ولكن من الناحية العملية معامل الفصل أقل عن هذا يسبب ظروف التشغيل الغير مثالية وخفض الكفاءة.لذلك، يكون من الضرورى توفير مئات المراحل للحصول على إخصاب جيد منU-235. غاز UF_6 المخصب (بعد المرور خلال الحاجز المثقب) يتم جمعه، ضغطه وتبريده قبل تدفقه إلى المراحل التالية من شلال الانتشار (Diffusion Cascade). العملية يمكن أن تتم عند ضغط أقل من الضغط الجوى وذلك لإطالة متوسط المسار الحر لجزئيات الغاز (أى مسافة رحلتها بين التصادمات). للفصل الكفؤ فإن هذه المسافة يجب أن تكون ضخمة مقارنة إلى حجم ثقوب الحاجز. خلافا لذلك، بدلا من الحالة المرغوبة للفصل الفردى لانتشار جزئيات الغاز خلال العازل، يتم تبخير خليط الغاز إلى منتجات العازل (يسمى – تدفق الكتلة – Mass Flow) مع قليل أو بدون إخصاب.

٢ - عملية الانتشار الحرارى:

طريقة إثراء اليورانيوم هذه مبنية على مبدأ أنه فى حالة وجود انحدار فى درجة الحرارة فى خليط من سائلين أو أكثر، فإنه يحدث انحدار (ميل) فى التركيز، حيث الجزئيات الأخف تميل إلى التركيز فى المناطق عند درجة الحرارة الأعلى. المعدة المستخدمة فى هذه العملية تتكون من سلسلة من أعمدة الانتشار (Series Of Diffusion Columns). كل عامود يحتوى على ماسورتين متحدة المركز (Concentric)، الماسورة الداخلية يتم تسخينها والخارجية يتم تبريدها. يتم تحويل اليورانيوم الطبيعى إلى هكزافلوريد اليورانيوم ($UF_6 = U^{238} F + U^{235} F_6$) ويتم استمرار التدفق المعاكس فى المساحة الحلقية بين المواسير، تيار التدفقات لليورانيوم المخصب إلى أعلا العامود ملاصقا للحائط الساخن للمساحة الحلقية والتيار المستنزف (Depleted) يتدفق إلى أسفل العامود قريبا من الحائط البارد للمساحة الحلقية. الأعمدة هذه يتم توصيلها فى نظام الشلال الهابط (ىCascade)، التيار المخصب من أحد الأعمدة يصل من خلال ماسورة (Piped) إلى العامود التالى " الأعلى" " UP" (Cascade)، التيار المستنزف يصل من خل ماسورة إلى العامود التالى " إلى أسفل" " Down" وهكذا. هذه الطريقة عموما تنتج يورانيوم مخصب جزئيا والذى يمكن وزيادة إخصابه بالطريقة بالكهرومغناطيسية.

٣ - الطرد المركزى للغاز (Gas Centrifuge Process)

إثراء اليورانيوم بهذه الطريقة مبنى على حقيقة أنه عند تعرض خليط سائل إلى قوة الطرد المركزى فى وحدة الطرد المركزى الأنبوبية عالية السرعة، فإن المكونات الثقيلة تميل إلى الانفصال من المكون الأخف بسبب عدم تساوى قوة الطرد المركزى لهم طبقا لاختلاف كتلتهم. يتم تحويل اليورانيوم إلى سداسى فلوريد اليورانيوم حيث يرسل إلى الطرد المركزى حيث يدور عند سرعة عالية جدا. تيارات سداسى فلوريد اليورانيوم. المخصب والمستنزف (Depleted) يتم إزالتهم من مخارج منفصلة. درجة الإخصاب فى مرحلة واحدة من العمل تعتمد على سرعة الطرد المركزى وتتناسب مع الفرق في الوزن الجزئي للمكونات الثقيلة والخفيفة. نظرا لأنه يوجد اختلاف يقدر بحوالى ثلاث وحدات وزنيه بين كل من U-235، U-238، فإن استخدم عملية الطرد المركزى للغاز يؤدى إلى فصل كبير أو عامل الإخصاب يزيد عن عملية الانتشار الغازية حيث درجة الإثراء فى مرحلة واحدة هى دلالة لنسبة الوزن وليس لفرق اوزن. فى عملية الطرد المركزى، درجة

الإخـصاب تخـتلف طـبقا لقدرة الطاقة الرابعة للسرعة، عند ثبات كل العوامل الأخرى، والذى يتضمن أن مضاعفة السرعة، سوف تزيد إنتاج الإخصاب بمعامل ستة عشر.

عملية الإخصاب الكهرومغناطيسية:

Electromagntic Enrichment Process

هـذه العملـية مبنـية علـى مـرسمة الطـيف (Spectrograph). فـى هـذه العملية غاز سداســى فـوريد اليورانــيوم (UF_6) الــمؤين المنــتج إمــا بالانــبعاث الحــرارى الأيونــى (Thermoionic) أو بالقـذف، اليكرتونـى ويتم تعجيله بنظام كهربى والشعاع الناتج يتم تعريضه في مجال مغناطيسى حيث تنحرف الأيونات فى ممر منحنى، درجة الانحراف تكـون دلالـة للكـتلة. الإخصاب يصاحبه وسائل جمع الشرائح الموضوعة فى ممر الأيون. هـذه العملـية تعمـل بطـريقة دورات زمنـية متعاقـبة (Cycle) (أى غير مستمرة) وتحت تفـريغ عـالى. رغم أن هذه العملية تساعد على الإثراء الكبير فى عملية واحدة ولكن كمية المادة التى يمكن معالجتها فى وحدة واحدة صغيرة جدا.

طريقة الإخصاب بالفتحة الصغيرة (Nozzle Enrichment)

هـذه الطـريقة تم استحداثها فى ألمانيا، حيث تستخدم الانحدار فى الضغط فى نفاث أسـرع مـن الـصوت (Supersoic Jet) لـتأثير فـصل نظائـر اليورانــيوم. الـتغذية بالغـاز المحـتوى علـى ٥٪ مـن جـزئيات سداسـى فلـوريد اليورانـيوم، ٩٥٪ مـن غـاز الهيليوم (يـضاف الهيلـيوم لـزيادة سرعة البثق - Jet) تجتاز حائط منحنى ينتج عنه إثراء المكون الأثقـل عـند سطح الحائط. يتم وضع طرف سكينة لتقسيم الغاز إلى قسمين، القسم الثقيل ذو التركيـز الزائد من U-238 والجزء الخفيف من U-235. استهلاك الطاقة لوحدة عمل الفصل فى طريقة البثق هذه تكون حوالى ضعف تلك لعملية انتشار الغاز.

عملية الإثراء بالليزر: (Lasser Enrichment Process)

حالـيا فى مرحلة التجارب المعملية فى الولايات المتحدة تجرى عملية الإثراء بالليزر، تـشمل هـذه العملـية عملـية الـتأين علـى مـرحلتين لليورانـيوم - ٢٣٥ مـع فـصل نظائـر اليورانـيوم بكـتلة مـرسمة الطيف (Masspectrograph). يتم تأين اليورانيوم فى فرن ثم إضــاءته بــشعاع (Xenon Laser) [الإكــزينون عنــصر غــازى خامــل، الليــزر معـناها تـضخم الـضوء بانـبعاث الإشـعاع المنـشط أى- Light] [Amplification By Stimulated Emission Of Radiation] عـند الـتردد الـذى عـنده تحـدث إسـثارة

الـذرات، ولكـن لا تحـدث إثـارة الـذرات U-238. يـتم عـندئذ تـشعيع بخار اليورانيوم بواسطة بشعاع ليزر الكربتون (الكبريتون هو عنصر غازى خامل - Krypton) الذى يؤين ذرات U-235 التى تم إثارتها (Excited)، والتى عندئذ تنحرف فى مجال كهربى ويتم جمعهـا. فـى المـرحلة الـواحدة، الكفـاءة النظرية هى أكثر من ٩٠٪ والإثراء (التخصيب) حتى ٣٪ وهذا ما تم تحقيقه بهذه العملية.

المشاكل المصاحبة لهذه التقنية هى:

– اسـتعداد اليورانـيوم عـند ٢١٠٠°م (درجـة حـرارة التبخر) لعمل سبيكة مع معادن أخرى.

– الحاجة إلى تطوير ليزر عالى الطاقة قادرًا على العمل باستمرار عند ترددات معينة.

– الحاجـة إلى خفـض شـحنة تعادل أيونات U-235 التى تحدث خلال التصادمات فى خليط الغاز.

بعـض الطـرق الأخـرى المعروفة لإخصاب اليورانيوم تشمل التقطير الجزئى لـ (UF_6) والتقطير الجزئى (Molecular Distillation Or Fractional).

الجدول الآتى يعطى مقارنه لعمليات تخصيب اليورانيوم:

اسم العملية	معامل الفصل	استهلاك الطاقة النوعية كيلوات/كجرام USW/YR	تكاليف رأسمالية دولار/كجرام USW/YR
الانتشار الغازي	١,٠٠٤٣	٠,٢٦٦	١٠٠
الانتشار الحراري	——	٦١	——
الفصل بالبثق	١,٠١٥	٠,٦٥٦	١٦٤
التقطير الجزئي FU6	١,٠٠٠٠٩	٠,٦٢	١٢٦
التقطير الجزيئي	> ١,٠٠٤٣	> ٠,٠٧٣	——

USW/ Yr = Unit Separation Work / Year

الانتـشار الحـرارى وعملية الإخصاب الكهرومغناطيسي التى تم تطويرها أثناء الحرب العالمية الثانية انتشرت الآن ومعظم المحطات فى الدول الغربية تستخدم الانتشار الغازى (Gaseous Diffusion). معظـم محطـات الإخصاب بالانتشار الغازى تحت الإنشاء فى

فرنسا وفى الولايات المتحدة الأمريكية. محطات الإخصاب فى الولايات المتحدة المستخدمة لعملية الطرد المركزى ثم إقامتها بواسطة ألمانيا، هولندا، وإنجلترا طبقا لاتفاق مبنى على عملية الفصل بالبثق (Zozzle). عملية الإخصاب بالليزر جذبت الإنتاج وقد تصبح عملية للإخصاب التجارى. باكستان يحتمل ان تستخدم الإخصاب بالطرد المركزى حاليا - الهند ليس لديها وحدات الإخصاب اليورانيوم حتى الآن.

٢ - التخلص من المخلفات المشعة : (Radio active Waste Disposal)

توجد مشكلة التخلص من المخلفات المشعة المصاحبة لعمل المفاعلات النووية، وهذه المخلفات بمستويات مختلفة التى تنتج أثناء المعالجة الكيميائية للوقود المشع للمفاعل، معالجة محاليل ناتج الانشطار، الأداء العام فى المعمل الكيميائى الإشعاعى، العمليات التحليلية بالمواد ذات النشاط الإشعاعى، عمليات الغسيل لإزالة الملوثات من مهمات الحماية.. الخ. تلك الملوثات لا تشكل فقط خطورة كيميائية كامنة ولكن خطورة إشعاعية إلى درجة كبيرة جدا. التخلص من تلك المخلفات، التى يمكن أن تكون اما صلبة، أو سائلة أو غازية، تشكل مشكلة كبيرة فى الصناعة النووية. طبقا لطبيعة المخلفات ومستوى نشاطها، توجد طرق عديدة للتخلص منها والتى تشمل الآتى:

التخلص الأرضى (Land Disposal)

- الدفن تحت الأرض قرب موقع إنشاء المفاعل.
- الدفن تحت الأرض فى مواقع خاصة طبيعية.
- الحفظ فى خزانات تحت الأرض.

التخلص فى البحر : (Sea Disposal)

- التخلص المباشر فى البحر.
- التخلص تحت البحر فى أوعية خرسانية.

المخلفات الصلبة والغازية :

المخلفات الصلبة القابلة للاحتراق ذات إشعاعية منخفضة يتم حرقها فى محارق تعد خصيصا، وبذا يقل حجمها. الأبخرة، الغازات والرماد الناتج أثناء الحرق يتم إحكامه عن قرب. الغازات قبل انطلاقها إلى الجو يتم مرورها خلال المرشحات ووحدات غسيل (Scrubbers) لإزالة المادة المشعة العالقة. الرماد المشع يتم إحكامه بحرص وخلطه مع

المخلفات عالية الإشعاعية، المخلفات الغير قابلة للاحتراق التي يمكن أن توضع فى وعاء مناسب وإلقائها فى البحر أو أن يتم دفنها تحت الأرض في موقع تخلص مناسب يتم اختياره لهذا الغرض. الدفن هو طريقة آمنة للتخلص من المخلفات. ولكن فى حالة التصاق المخلفات المشعة مع المياه الجوفية، فإنه يمكن أن تسبب التلوث لمصادر مياه الشرب.

المخلفات السائلة : (Liquid Wasts)

طبقا لمستويات النشاط فإن المخلفات السائلة تنقسم إلى ثلاث أقسام:

- مخلفات ذات مستوى عالى.
- مخلفات ذات مستوى متوسط.
- مخلفات ذات مستوى منخفض.

الحجم الكبير من محاليل مخلفات نواتج الانشطار من المعالجة الكيميائية لوقود المفاعل يتم تركيزه إلى حجم صغير بالتبخير ثم الحفظ فى خزانات من الصلب المقاوم لسنين كثيرة حتى موت النشاط الإشعاعى المصاحب لنواتج الانشطار، بعد ذلك يمكن التخلص فى البحر.

تثبيت المكونات المشعة للمخلفات على الطفل وعلى التربة هى طريقة أخرى للتخلص من المخلفات السائلة عالية المستوى. الطفل يمتص ناتج الانشطار من المحلول ويصبح مثبتا على محلول الطفل عند حرق الطفلة عند درجة حرارة عالية. هذه طريقة جيدة للتخلص من المخلفات لرخص تكلفتها وتوفر الطفلة وسهولة التداول. أحيانا يتم خلط محلول مخلفات عالى الإشعاع مع الأسمنت البورتلاندى التى تتحول إلى المونة الأسمنتية وأخيرا يتم التخلص منها فى أوعية مانعة للتسرب فى عمق البحر أو الدفن فى تربة مثبتة.

تبذل جهود لإزالة المخلفات عالية الإشعاع عند أو قريبا من مكان المفاعل النووى. إزالة التلوث فى أحجام أصغر يكون عادة أسهل فى التداول، وأقل خطورة وأقل تكلفة عن تداول كمية ضخمة من المخلفات.

المخلفات ذات المستوى المتوسط، كمثال للمخلفات من المراحل الأخيرة من وحدة استخلاص البلوتونيوم، عادة يتم تخزينها لعدد قليل من السنين، بحيث أن تموت

الإشعاعية بما يكفى للصرف إلى البحر بعد استخدام المعالجة البسيطة للمخلفات ذات المستوى المتوسط.

المخلفات ذات المستوى المنخفض يتم صرفها فى البحر بعد عمل معالجات بسيطة التى تشمل التعادل يليه المعالجة بمعامل مكونات للزغبات (Floc) التى يمكن إزالتها بمرور المحلول خلال المرشحات الرملية. تقنيات التبادل الأيونى تستخدم كذلك للمعالجة ذات المستوى الصغير أو للمحاليل ذات النشاط الإشعاعى المنخفض . فى إزالة الأيونات كهربيا (Electro-deionization) المستخدمة للعمليات على المستوى الصغير للمخلفات المشعة، يتم مرور المحلول خلال طبقة مكونه من خليط من راتنجات الآن أيونات والكاتأيونات، يتوسط ما بين غشاء نفاذ أن أيونى وكاتأيونى الذى خلاله يتم استخدام فرق جهد لتيار ثابت حيث ينتج تركيز للمادة النشطة فى غرف القطب وبذا يقل المحتوى من المادة المشعة من السائل الخارج من طبقة الراتنج.

المبردات خلال عمل الفاعل تكون معرضه لإشعاع النيوترون وتصبح ذات طبيعة مشعة. يجب تنقيتها إلى درجة كبيرة قبل تركها فى الجو. فى الطريقة البيولوجية لمعالجة المخلفات المشعة، المحاليل المشعة يتم ترشيحها فى مرشح زلطى محتويا على ركام دياتومى (غنى بمادة بيولوجية مناسبة مثل التراكمات البيولوجية) بذا يتم خفض نشاط المحاليل.

مهمات الحماية، مثل المعاطف المعملية، أغطية الرأس، غطاء الحذاء وقفازات المطاط والجلد... الخ تكون ملوثة بالمواد المشعة، غسيلها ينتج عنه مياه غسيل مشعة والتى يتم التخلص منها كذلك بنفس الطريقة للتخلص من المخلفات ذات المستوى المنخفض.

لقد خطط الأمريكان لإطلاق المخلفات المشعة فى أوعية مناسبة خارج الجاذبية الأرضية للتخلص منها.

ولكن، كل تلك الحلول لمشاكل المخلفات تواجه صعوبة فى النقل، والتداول لتلك المواد شديدة الخطورة. حفظ المخلفات فى أوعية تحت الأرض يعتبر مكلف ولا يخلو دائما من الخطورة. أى قرار بخصوص التخلص من المخلفات يجب أن يتم مع مراعاة الأمان، الاقتصادية، ومدى مناسبته.

الفصل الخامس عشر

الاندماج النووي وإنتاج الماء الثقيل.

١- الاندماج (Fusion)

المفاعلات (الحرارية النووية) (Thermonuclear Reactors)

مبدأ الاندماج:

على عكس الانشطار النووى، حيث ينشطر عنصر ثقيل مثل U-235 إلى جسيمات أصغر مطلقا كمية مهولة من الطاقة فإن الاندماج النووى يحدث عند اتحاد نويتين خفيفتين أو يندمجا لتكوين نواه لعنصر أثقل نسبيا الذى يصاحبه إطلاق طاقة. عناصر الاندماج المثالية هى الديتيريوم والتريتيوم (وهما نظائر الهيدروجين) عند الاندماج يكونا عنصر جديد له كتلة أقل من مكونات التفاعل الأصلية. الفرق فى الكتلة هذا هو الذي يتحول إلى طاقة التى يمكن استخدامها لتوليد الطاقة الكهربية.

اندماج النويات الخفيفة مثل الديتيريوم (D) والتريتيوم (T) يحدث بمعدل مناسب عند درجة حرارة عالية جدا حوالى مليون درجة حرارة مئوية. لذلك فإنها تسمى التفاعلات الحرارية النووية والمفاعل المستخدم لهذا الغرض يسمى المفاعل الحرارى النووى والذى مازال فى مرحلة التطوير. نويات العناصر يصد كمل منهما الآخر لكونهم جميعا لهم شحنات موجبة ويمكن أن يندمجا فقط فى تصادمات ذات طاقة عالية بما يمكن من التغلب على تنافرهم الكهرواستاتيكى. مثل هذا الارتطام يمكن فقط حثه برفع درجات حرارتهم وبذا إكسابهم الطاقة الحركية الضرورية للتغلب على التنافر الكهربى وجعلهم محجوزين ومقيدين بحيث احتمال أن يصطدم أحدهما بالآخر. بمجرد بدء تفاعل الاندماج، فإن الطاقة المنطلقة تكون كافية لاستمرار الحرارة والمحافظة على استمرار العملية.

الاندماج يوفر طاقة الانفجار لقنبلة الهيدروجينية وهو المصدر الرئيسى للطاقة الشمسية. ولكن عند درجة حرارة مرتفعة جدا فإن كل المواد تتحول إلى البلازما (Plama - غاز كمؤين يحتوى على إعداد متساوية تقريبا من الأيونات الذرية المؤينة والإليكترونات الحرة الطليقة - وهى تعتبر حاليا إحدى حالات المادة - أى خليط من الإليكترونات والنويات موجبة الشحنة، - نظرا لأنه لا توجد مادة تستطيع البقاء عند

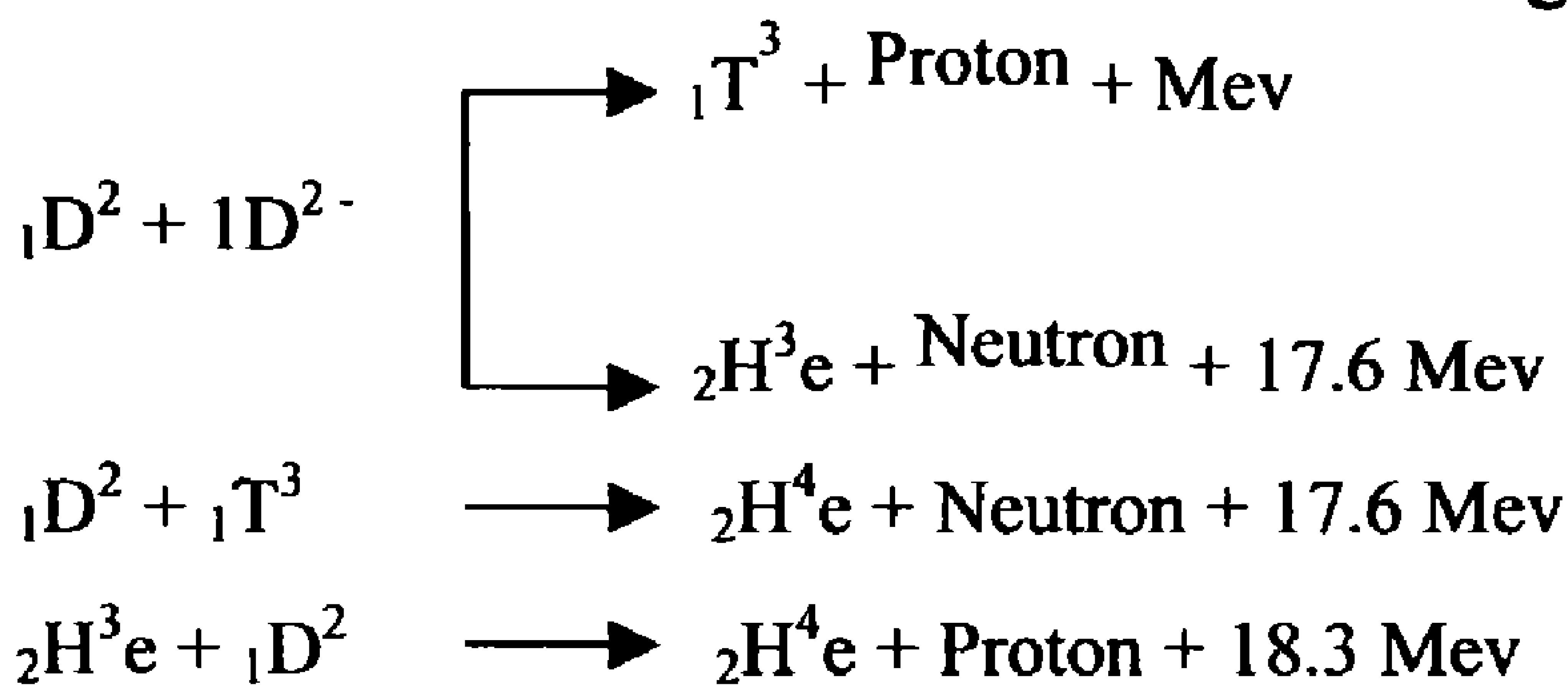
درجة حرارة الانـدماج، فإنـه تم تبنـى عـدة طرق لخلق الظروف الضرورية لحدوث هذا الانـدماج. الـتحكم فـى تفاعـل الانـدماج الـنووى لإنتاج الطاقة، فى حالة تطويره بنجاح سيكون مصدر لا نهائى للطاقة.

وقود الاندماج والمفاعلات : (Fusion Fuels And Reactors)

الهيدروجين، أقل العناصر فى الرقم الذرى هو الوقود الرئيسى للاندماج لطاقة الشمس والـنجوم. ولكـن انـدماج ذرة الهـيدروجين بطـئ جـدا لـيكون لـه أهمية عملية لتفاعلات الاندماج على الأرض. ولكن كلا من الديتيروم والتريتيوم وهما نظيرى الهيدروجين يحدث لهما الاندماج أسرع وأسهل تحت نفس الظروف.

الديـتيريوم وهـو نظـير ثابـت ومـستقر يوجد بوفرة فى مياه البحر بينما التريتيوم وهو نظـير مـشع غـير مستقر يمكن إنتاجه صناعيا بقذف النيوترون على الليثيوم المتاح بوفرة. كلا من الديتيريوم والتريتيوم هما المصادر الواعدة لتفاعلات الاندماج النووى المحكمة.

بعض تفاعلات الاندماج الكامنة موضحة كالآتى:



المشاكل الفنية المصاحبة للاستغلال التجارى لطاقة الاندماج:

مـبدأ الانـدماج يـبدو بـسيطا ولكـن المتطلـبات العملـية يبدو انه من العصب تصديقها عملـيا.. درجـة الحرارة المطلوبة تكون فى حدود ١٠٠ مليون درجة مئوية أو اكثر. داخل الشمس والنجوم يحدث الاندماج عند درجة حرارة أقل ذلك بسبب الضغط المروع والهائل الـذى لا يمكـن خلقـه علـى الأرض. فـى القنـبلة الهيدروجينـية يحدث انفجار الانشطار الأولى للحظـة واحدة درجة حرارة مرتفعة لا تصدق التى تنشط سلسلة الانفجار لتفاعلات الانـدماج. ولكـن التحكم فى تفاعلات الاندماج لا يمكن استخدامها أو استمرارها بانفجار الاندماج.

عند درجة حرارة أقل كثيرا من درجة الحرارة المطلوبة للاندماج، فإن كل المواد تتحول إى حالة البلازما. لذلك، تكون المشكلة ذات شعبتين وهما خلق واستمرار درجات الحرارة المرتفعة، وكذلك لاستمرار حجز البلازما واحتوائها. ربما يكون الحجز للبلازما هو العمل شديد الصعوبة، ذلك لأنه لا توجد مادة معروفة يمكن أن تحتوى هذا الغاز الساخن والذى يستعدى فكرة العزل المغناطيسى لبلازما.

الاندماج المحكم: (Controlled Fusion):

لإمكان حدوث الاندماج المحكم يكون من الضرورى تسخين الديتيريوم أو خليط الديتيريوم – التريتيوم إلى درجة حرارة مرتفعة جدا والمحافظة عليها بدون أى فقد كبير لمدة جزء من الثانية. يوجد أسلوبين منفصلين يتم بحثهم لإحكام تفاعل الاندماج.

الطريقة الأولى: تهدف إلى استخدام مجالات مغناطيسية لحجز البلازما. ثم بناء عدد من التجهيزات التجريبية باستخدام تقنية حجز مغناطيسية كما يوجد تحسن مستمر فى خلق حالات وقت الحجز لدرجة الحرارة / الكثافة الضرورية لتوليد الطاقة من الاندماج. الهدف الأساسى فى برنامج التطوير هذا هى للحصول على حالات البلازما بحيث ان يتم توليد الطاقة العالية فى تفاعل الاندماج كما هو مطلوب لتشغيل المعدة.

الطريقة الثانية: للحصول على حالات الاندماج باستخدام الليزر عالى الطاقة لضغط كره صغيرة من الديتيريوم والتريتيوم . رغم ان كلا الطريقتين تحتاج إلى درجة حرارة فى حدود ١٠٠ مليون درجة مئوية ولكن طبيعة عملية الاحتواء المغناطيسى تكون بحيث كثافات الوقود فى البلازما تكون منخفضة نسبيا وبذلك فإن زمن الحجز والاحتواء يجب أن يكون كبيرا نسبيا. المشكلة الرئيسية مع الاندماج بالاحتواء المغناطيسى هى الحصول على حالات بلازما ثابتة، بينما الاندماج بالليزر هو لتوليد وتركيز طاقة كافية على كره الوقود للحصول على كثافة الوقود المطلوبة.

من بين العديد من نظم الاحتواء (بمختلف الشرح والتوضيح مثل الآبار، القنينات، المرايا.. الخ، المطورة لحجز البلازما والإمساك بها فى حالة مضغوطة، فإن النظام الواعد هو نظام توكاماك (Tokamak) الذى تم تطويره بواسطة الاتحاد السوفيتي، والذى يستخدم فى دول أخرى كذلك، يتم تسخين البلازما بواسطة تيار كهربى قوى وحجزها مغناطيسيا فى غرفة مفرغة للف حلقى أو مقفل المجال (Toroidal). التيار نفسه ينتج حجز مغناطيسى (Magnetic Held)، بينما اللف المخصب للنتوء المستدير (Enriching

The Torus) ينتج واحده أكثر قوة، وهما معا ينتجا مجال مغناطيسى لولبى حلزونى الذى يمنع جسيم البلازما من الهروب السريع إلى حوائط الوعاء.

ولكن فى الاحتواء بالقصور الذاتى (الكسل والجمود) (Inertial Confinement) تكون كرات وقود الاندماج مطحونة إلى الكثافة الفائقة بواسطة الليزر وإشعاعات الاليكترونات.

التقدم التجريبى فى الاندماج المحكم:

الظروف الطبيعية للاستمرار الذاتى لتفاعلات الاندماج أصبحت الآن معروفة جيدا وموضحة. هذه الظروف تحتاج إلى حد كبير نظام احتواء مغناطيسي متقدم الذى تمت بناءا عليه الطرق المختلفة المحتملة والتى اقترحت وحاليا هى تحت الدراسة والبحث. أهم هذه الدراسات هو تأثير الضغط والتضييق (Pinch Effect) الذى يشكل الأساس لبعض التجهيزات التجريبية التى سيتم شرحها:

زيتا (Zeta): ماكينة الضغط التجريبية البريطانية والتى تتكون من أنبوب فى شكل أنبوبة حلقية (Doughnut) (بقطر متوسط ٩ قدم وثقب ٣ قدم) مزودة بقضيب حديد داخل ملف المحول (Iron Core Of Trans former) . تم تمرير تيار عالى جدا خلال البلازما فى جزء من الثانية. رغم الوصول إلى درجة حرارة ٥ مليون درجة مئوية ولكن النيوترونات المنبعثة لم تثبت أنها من مصدر حرارى نووى.

أجهزة (Columbos And Perhapsatron):

كلا هذين الجهازين فى المعمل العلمى فى الولايات المتحدة. حيث استخدم الجهاز الأول أنبوب انضغاط مستقيم حتى وصلت درجة الحرارة ٣ - ٥ مليون درجة مئوية لنبضات لواحد على عشرة آلاف من الثانية (Micro Second) أو أقل حيث كل نبضة تبعث $١٠^{١٤}$ ، $١٠^{١٨}$ نيوترونات. الجهاز الثانى أنتج درجة حرارة ٦ مليون درجة مئوية لمدة ٢ ميكرو ثانية فى أنبوب انضغاط مثبتة حلقية، كل نبضة منتجة $١٠^{٦}$ نيوترونات.

جهاز (Stellarator): هذا جهاز فى جامعة (Princeton) الأمريكية، ويستخدم نوعين من الأنابيب. احدهما فى شكل حلقة المرساه (Torus) وبها مجموعتين من لفائف الأسلاك (Coils) - ملفوفة حلزونيا داخليا وخارجيا فى شكل دائرى. الأنبوبة الخارجية لها ملف أسلاك دائرى بسيط. المجال المغناطيسى الخارجى المستخدم للاحتواء المغناطيسى فى هذا الجهاز، يميل إلى النبات ضد اضطرابات معينة. من بين الطريقتين

المستخدمتين للتسخين، هما طريقة التسخين بمقاومة الدائرة للتيار المستمر (Ohmic Heating) حيث أمكن الحصول على درجة حرارة قدرها مليون درجة مئوية. سريان التيار خلال الغاز يتم حثه بتزويد الأنبوب بلب من الحديد وتمرير التيار خلال الملفات (Coil). هذا يجعل أنبوب (Stellaror) الثانية للمحول عندئذ يحدث التسخين من سريان التيار خلال البلازما.

طريقة الضخ المغناطيسى (Magnetic Pumping) المستخدمة فى الحصول على درجات حرارة أعلا، تتكون من نبضات من المجال المغناطيسى فى مجال التردد اللاسلكى المنخفض بحيث تتقابل مع أحد الفترات الطبيعية للغاز - الوقت اللازم لجسم للمرور خلال مقطع الضخ أو الوقت بين التصادمات فى الغاز - أقصى حرارة يتم إضافتها. من المأمول به أن تصل إلى ١٠٠ مليون درجة مئوية فى جهاز استلاراتر.

ماكينة المرآة: (Mirror Machine)

تحت التطوير فى جامعة كاليفورنيا فى معمل الإشعاع، وذلك بتشكيل الملفات حول أنابيب مستقيمة، ماكينة المرآة هى حرفيا قنينة مغناطيسية، البلازما الساخنة تكون محتجزة فى الجزء المركزى للأنبوب (الذى فيه التيار عند طل طرف يكون عند قوة أعلا من الجزء المركزى) بمجال متجانس الذى يحافظ على البلازما بالبدء من مجال مغناطيسي مستقر ثم بناؤه بالتدريج إذا أمكن بعيدا عن الجدار. نهاية " المرآة" تعكس الجسيمات ثانيا إلى الماكينة. يمكن تسخين البلازما تحقيق تفاعل الاندماج فى ماكينة المرآة، فإن عملية حدوث تسخين البلازما يمكن استخدامها فى استخلاص الطاقة.

تجربة التيار المباشر: (Direct Current Experiment)

هذه الجهيزة فى المعمل الأمريكى الوطنى وهى تجمع الاحتواء المغناطيسى مع حقن الجسيمات المعجلة. يتم الحقن ٦٠٠ كيلو إليكترون فولت (600 Kev) من أيونات الديتيريوم الجزئى فى مجال الاحتواء المغناطيسى (والذى يدور خلال المجال ويعود لطرق المصدر) الذى فيه التفريغ الكهربى يعمل على تحلل الأيون، انشطاره إلى ذرة ديتيريوم المتعادلة وأيون الديتيريوم الحامل للشحنة الذى يدور فى مدار نبض نصف القطر الأصلى (بسبب نصف كتلته السابقة) وبذا يتم احتجازه. من المأمول بناء بلازما محتجزة ذات درجة حرارة عالية بحقن الأيونات. حاليا طبيعة والمتغيرات القصوى لعدم النبات التى وجدت فى كل تجربة تم فهمها جيدا. التجارب الأخرى تهدف إلى

استخدام أشكال هندسية من مجال مغناطيسي في شكل رأسي. مؤنف (قرنه - Cups) كمجال الاحتواء للحصول عى بلازما ذات احتواء ثابت. في مجال الاحتواء يشكل القرنه (نقطة مزدوجة يتطابق عندها مماسا المنحنى)، خطوط القوى المغناطيسية تنحنى فى أى مكان بعيدا عن البلازما بما يحقق الثبات النظام الاحتواء وكذلك ينتج عنه خفض متطلبات المجال المغناطيسى الخارجى. تجربة أسترون فى أمريكا تقترح استخدام اليكترونات دواره ذات طاقة عالية لإنتاج مجالات مغناطيسية محتجزة. في هذه التجربة يتم قذف اليكترونات ذات طاقة عالية جدا فى غرفة أسطوانية مقدره، فى وجود مجال مغناطيسى خارجى مسلط بحيث أن تعمل تلك الاليكترونات مدارات دائرية. مع استخدام اليكترونات زيادة، فإنها تكون طبقة أو سطح اسطواني المعروف بـ (Leyer - E) الذى يخلق مجاله المغناطيسى، الذى يعمل على مجال خارجى مسلط، بما ينتج عنه خطوط قوى مغناطيسية التى تنغلق على نفسها. القنينة المغناطيسية الناتجة يمكن أن تحتوى البلازما بشكل ملائم. كذلك فإن الاليكترونات ذات الطاقة العالية للطبقة – E (E-layer) تؤين الذرات المتعادلة للوقود الذى يتم حقنه (الديتيريوم / أو التريتيوم) مكونا البلازما المحتجزة فورا بنظام خطوط المجال المغناطيسية المقفل. الاليكترونات فى البلازما تكتسب طاقة من اليكترونات الطبقة E (نتيجة التصادمات)، حيث يتحول جزء منها إلى أيونات. درجة حرارة الأيونات فى هذه الحالة يمكن أن تزداد إلى الحد حيث يحدث تفاعل الاندماج بمعدل مناسب.

مشروع اندماج آخر يسمى (JET) للاندماج النووى فى إنجلترا والذى يهدف إلى إحتجاز الطاقة من اندماج ذرات الهيدروجين. يتكون جهاز جيت من غرفة تفريغ، مجال مغناطيسى حلقى (Toroidal) ومحول وهو أساسا تجهيز لاحتواء الجسيمات المؤينة للبلازما لفترة طويلة كافية ٠ نصف ثانية) لحدوث تفاعل الاندماج . اكتمال تجارب برنامج حيث سيكون كافيا لوضع الأبعاد ، المعايير وسلوك البلازما المتوقع فى تفاعل الاندماج المستقبلى.

مميزات مفاعلات الاندماج:

- الوقود المطلوب لمفاعل الاندماج أى الديتيريوم متاح بوفرة فى مياه البحر.
- وقود الاندماج الثانى أى التريتيوم يمكن تصنيعه بسهولة بالقذف بالنيوترون لعنصر الليثيوم.

- بسبب وجود كمية صغيرة فقط فى مفاعل الاندماج فى وقت معين، يكون آمنا للتشغيل.
- مفاعلات الاندماج ستكون خالية من المفرقعات أو التفاعل الخاطف الذى يحدث فى مفاعل الانشطار.
- نظرا لأن المنتج النهائى للاندماج سيكون له طبيعة غير إشعاعية فإنه لا توجد مشكلة المخلفات المشعة التى يلزم التخلص منها كما فى حالة مفاعلات الانشطار.
- الطاقة من مفاعل الاندماج تكون أقل فى التكلفة مقارنة لتلك من المصادر الحالية التقليدية.
- وزن معين من الديتيريوم عند الاندماج يمكن أن يوفر الإمداد بأربع أضعاف الطاقة التى تنتج بالانشطار بنفس الوزن من وقود اليورانيوم.
- فى نظام الطاقة الحرارية النووية الذى يعمل بالديتيريوم، فإن حوالى ٣٠٪ من الطاقة المنتجة يمكن تحويلها مباشرة إلى طاقة كهربية بمجرد تمدد البلازما الساخنة أى بدون دورة تحول حرارى. فى حالة خليط الديتيريوم - تريتيوم حوالى ٢٠٪ من الطاقة المولدة يمكن تحويلها مباشرة.

أبحاث الاندماج (Eusion Research)

عدد كبير من المؤسسات البحثية والتعليمية فى الدول المتقدمة مشغول حاليا بأبحاث الاندماج، معظم أبحاث الاندماج حاليا مبنية على الاحتواء المغناطيسى (MagneticConfinement) حيث كثيرا من الجهود توجه حاليا نحو التحكم فى عدم ثبات البلازما. التقدم الثابت يتم لإيجاد درجة حرارة أعلا للاستمرار فترة طويلة ولتحسين طرق احتواء البلازما وزيادة زمن الاحتواء والحجز المبادئ الأساسية للاندماج النووى بدأت بدراسة فى عام ١٩٥٤م فى شمال مكسيكو. العمل الجاد على طاقة الاندماج بدء فى عام ١٩٥٠ فى بريطانيا وفى عام ١٩٥١ فى كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي. بدأت الأبحاث نحو الاندماج المحكم فى بريطانيا واستمرت منذ عند عام ١٩٦٣م، وفى الاتحاد السوفيتي وفى فرنسا وفى ألمانيا الغربية وإيطاليا واليابان. يوجد تبادل كبير فى المعلومات فى هذا المجال فى مؤتمر الاندماج النووى الحرارى المحكم وفيزياء البلازما فى أستراليا برعاية الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٦١م.

الانـدماج المحكـم فـى المفاعـل النووى الحرارى سوف يوفر مصدر جديد تماما للطاقة التـى سوف تغنى عن كل الوقود الحفرى مثل الفحم، الزيت، الغاز .. الخ وذلك لتوليد الكهـرباء. سـيكون الانـدماج الـنووى أكثـر أمانـا وأكثر نظافة، وأقل تكلفة عن الانشطار النووى الذى يتم حاليا فى المفاعلات.

فى حالة اعتبار أن طاقة الاندماج يمكن الحصول عليها وأن كان هناك قليلا من الشك نحـو ذلـك، حتـى أن إمكانـيات الأبحـاث الكـبيرة والتطويـر يمكن تبريرها. كلما كانت الاسـتثمارات عاجلـة كلمـا كـان يـوم بـدء تدفـق العائـدات. وبمجـرد حدوث ذلك، فإن الاسـتثمارات سـوف تظهـر كأنهـا لا شئ. فـى حالـة توفـر طاقة الاندماج على المستوى الـتجارى، فـإن المشاكل العالمية للطاقة سوف تنتهى. اندماج وقود الديتيريوم، المتاح فى مـاء البحـر. سـوف يكـون غـير منتهى والتريتيوم يمكن الحصول عليه من الليثيوم بفعل القـذف بالنيوترون. احتياطى الليثيوم فى القشرة الأرضية سيستمر لعدة آلاف من السنين. لذلك فإنه من المتوقع أن إنتاج الطاقة بالاندماج النووى سيكون مع منتصف القرن الحالى.

عملـيات الانـدماج هـذه هـى المسئولة عـن إحـداث كمـية الطاقـة المهولة فى الشمس والـنجوم والقنـبلة الهيدروجينـية، وفـى حالـة إحكامهـا فإنهـا سوف توفر كل متطلبات الطاقة للعالم لملايين السنين القادمة

٢ - **إنتاج الماء الثقيل** (Heavy Water Production) :

مـن المعـروف أنه عند اتحاد الهيدروجين والأكسجين كيميائيا فإنه يتكون جزئ الماء. ولكن فى الحقيقة فإن الهيدروجين يوجد فى ثلاث أشكال من النظائر - وهى الهدروجين الخفـيف بـرقم كـتلة واحـد والهـيدروجين الثقيل (الذى يسمى الديتيريوم - Deterium) بـرقم كـتلة اثـنين، والهـيدروجين الأثقـل الـذى يـسمى التريتـيوم (Tritium) برقم كتلة ثلاثة. الماء الثقيل هو الماء الذى تم إخصابه بمحتوى من الهيدروجين الثقيل (الديتيريوم) ويكون كيميائيا أكسيد الديتيريوم. الماء الثقيل النقى ليس له لون، وهو سائل لا رائحة له وهـو سـام حـيث يعيق النمو لكثير من الكائنات الحية، خواصه الممتازة لتبطئ النيوترون والقطـاع الـصغير جـدا للامتـصاص الحـرارى للنيوتـرون يجعله لا يقل عن أربع أضعاف الكفـاءة مقارنة بمواد التهدئة الأخرى. كمبرد ، الماء الثقيل يعمل بنفس الطريقة مثل الماء العـادى الخفـيف بجانـب الميزة الهامة لصغر مقطع الامتصاص والفروق الصغيرة بين نقط الغليان والتجمد. لذلك فإن الماء الثقيل كمبرد وكمهدئ مناسب من وجهة النظر الفنية.

بعض خواص الماء العادى والماء الثقيل موضحة فى الجدول الآتى :-

الخواص	الماء الثقيل (D_2O)	الماء العادي (H_2O)
الجاذبية النوعية عند (٢٥°م)	١,١٠٤٥	٠,٩٩٧١
ضغط البخار، مم زئبق عند ٧٠°م	٢١٦,١	٢٣٣,٦
نقطة الغليان °م	١٠١,٤٣	١٠٠
نقطة التجمّد °م	٣,٨٢	صفر
مقطع الامتصاص الحراري لنيوترون	٠,٠٠١١	٠,٦٦

ولكن الماء الثقيل له سلبيات مثل السعر المرتفع والتبخر. ولكن من وجهة النظر الاقتصادية فإن الفقد من الماء الثقيل قليلا جدا أثناء عمل المفاعل كما يمكن نقله واستخدامه فى أى مكان وفى أى وقت. المساهمة فى تكاليف التشغيل والتكاليف الرأسمالية يمكن خفضها بالخفض فى تكاليف الوقود بما ينتج عنه زيادة زمن الحرق وكذلك استخدام وقود رخيص . ولكن الماء الثقيل يميل إلى التأين فى وجود الإشعاع إلى عناصر مكوناته ولكن الغازات المتكونة يمكن أن يعاد إتحادها فى وجود عامل وسيط مثل الألومنيا. وجود كمية صغيرة من محلول كبريتات النحاس فى الماء الثقيل، يمكن أن يمنع حدوث تحلله فى وجود الإشعاع. يجب حماية الماء الثقيل من أى نوع من التلوث خشية أن يتحلل. عادة يتم تداوله تحت غطاء من غاز الهيليوم. التكاليف العالية المصاحبة فى إنتاج الماء الثقيل يمكن رؤيتها من حقيقة أن الهيدروجين العادى يحتوى فقط على حوالى جزء واحد من الديتيريوم فى ستة آلاف جزء، بما يجعل الإخصاب عملية صعبة ومجهدة وتتطلب كمية ضخمة من الحرارة أو الطاقة الكهربية.

العمليات الآتية تستخدم لإنتاج الماء الثقيل:

- التحليل الكهربى للماء.
- تقطير الماء.
- تقطير الهيدروجين السائل يليه حرق الهيدروجين المخصب بالديتريوم فى الأكسجين لإنتاج الماء الثقيل.
- التبادل الكيميائى للديتيريوم بين الماء والهيدروجين.
- التبادل الكيميائى للديتيريوم بين غاز كبريتيد الهيدروجين والماء.

– التبادل الكيميائى للديتيريوم بين الهيدروجين والأمونيا.

عملية تقطير الماء المبنية على الفرق في درجة حرارة الغليان بين الماء والماء الثقيل لا تسمح بالفصل الكامل حيث يمكن فقط الحصول على ٩٠٪ من أكسيد الديتيريوم. الإخصاب النهائى للمنتج شبه النهائى يمكن عمله بعملية إليكتروليتية. بسبب العملية اللازم عند درجة حرارة منخفضة جدا (٢٥٠°م) فإن

الفصل السادس عشر

الطاقة النووية نعمة أم نقمة.

١- المفاعلات النووية نعمة - أم نقمة:

المفاعل النووى، مثل القنبلة النووية يشمل نفس عملية الانشطار النووى. ولكن الانشطار فى المفاعل يكون مسيطرا عليه ولذلك فإنه لا يتفجر. يتم تبنى إجراءات أمن عالية ومكلفة فى تشغيل المفاعل النووى، ولكن أحيانا تحدث أخطاء فى المفاعل والتى تؤدى إلى حادثة.

فشل نظام التبريد فى المفاعل يزيد درجة حرارة قلب المفاعل وعندئذ فإن قلب المفاعل نفسه ينصهر. مثل هذه الحادثة تسمى انصهار المفاعل (Reactor Melt Down) - إشعاع التأين الكثيف الناتج عن الانصهار يمكن أن يعمل على تحلل الماء إلى الهيدروجين والأكسجين. هذا الخليط من الغازات يمكن عندئذ أن ينفجر بما يسبب تدمير قلب المفاعل وكذلك الغلاف الخارجى للمفاعل. عندئذ يحدث انطلاق لكمية ضخمة من المواد المشعة الخطرة إلى الجو.

الحادثة التى شملت انصهار قلب المفاعل كانت فى الولايات المتحدة فى عام ١٩٧٨. وفى عام ١٩٨٦ حدث انفجار فى محطة الطاقة النووية فى تشير نوبل قريبا من كييف فى الاتحاد السوفيتى. الغلاف الخارجى فى حادث الولايات المتحدة ساعد على منع التسرب الاشعاعى ولكن فى حالة حادثة تشر نوبل،حدث تدمير لغلاف الحماية الخارجى بما تسبب فى تلوث البيئة بالمواد الإشعاعية القاتلة.

كلا هذين الحادثين لمفاعلات الطاقة أوجد الشكوك حول أمان المفاعلات النووية. فى عام ١٩٥٠ كانت المفاعلات النووية تعتبر نعمة بالنسبة للعديد من الدول بما توفره من حلول لمشاكل وأزمات الطاقة. وإن كان بعد تلك الحوادث أصبح هذا التفكير محل شك، وقد ظهرت مجموعات من المواطنين قوية ضد الاستخدام النووى. وبعد التوقف عن بناء محطات الطاقة النووية لمدة عشرة سنوات استأنفت الولايات المتحدة الأمريكية بناء المفاعلات النووية وذلك بعد تطوير وتحديث وآلية تأمين عمل المفاعل بما حقق الأمان الكامل لاستخدام المفاعلات النووية لانتاج الطاقة.

٢ - الغواصات النووية : (Nuclear Submarines) :

فى الغواصة النووية، كل الطاقة المطلوبة لتشغيلها يتم توليدها باستخدام المفاعل النووى. فـى هـذا المفاعـل يستخدم (UC_2) مع اليورانيوم المخصب لأكثر من ٩٠٪ كوقود. هذا اليورانـيوم عـالى الإخصاب يمكن المفاعل من أن يكون صغيرا ليمكن وضعه داخل الغواصة تـستخدم الهيلـيوم كمـبرد كمـا تـستخدم قضبان الكادميوم (Cd). للسيطرة والتحكم فى التفاعل المتسلسل. مثل هذا المفاعل يسمى المفاعل عالى درجة الحرارة (High Temperature Reactor - HTR).

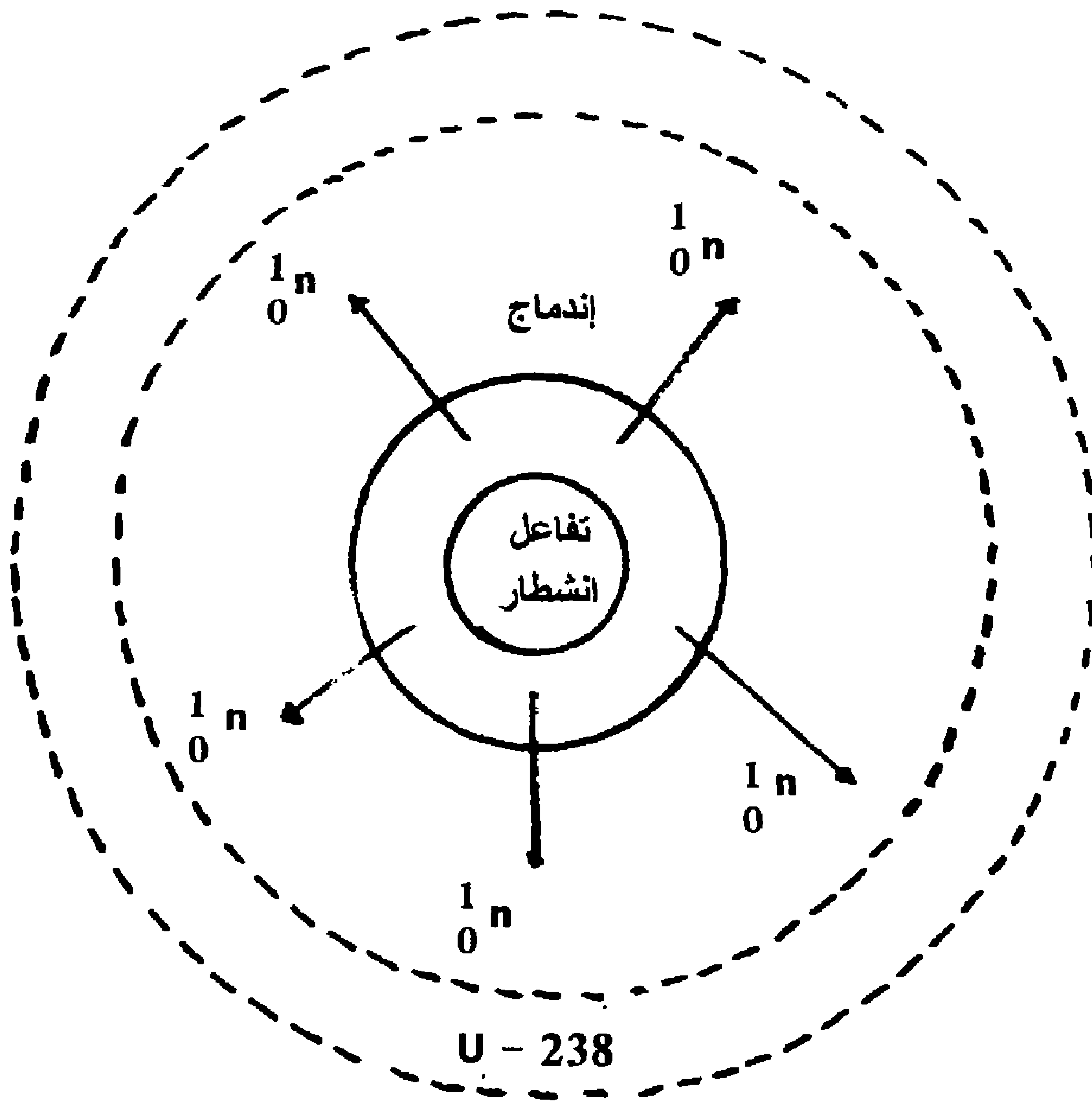
٣ - القنبلة الذرية (Atomic Bomb) :

القنـبلة الذريـة هــى تجهيـزه لاطـلاق كمـية ضـخمة من الطاقة فى ثوان قليلة بالانشطار النووى. الوقود النووى (U-235 or Pu-239) يتم وجوده فى أجزاء منفصلة (Segments) فـى الحالـة دون الحـرجة (Subcritical) فـى القنـبلة. يـتم دفـع هـذه الأجـزاء المنفـصلة إلى الكـتلة الحـرجة (Critical Mass) باستخدام مادة تفجير تقليدية مثل مادة تى إن تى (TNT). عندئذ، فإن الينورتونات التى تنطلق وتتحرر (Released) مـن مركـز القنـبلة تعمـل كـزناد قـدح (Trigger) للتفاعل المتسلسل بما يـؤدى إلى الانفجـار. الطاقـة الحـركية الـضخمة للانفجـار تدمر المنشآت والمبانى والطاقة الحرارية تحرق المواد والإشعاعات النووية تسبب الأذى للإنسان.

فـى الـسادس مـن أغـسطس عـام ١٩٤٥ تم إسـقاط قنبلة نووية على مدينة هيروشيما فى الـيابان وكانـت هـذه القنبلة تسمى (Little Boy)، وكانت تحتوى على وقودU-235 . وفـى التاسـع مـن أغـسطس عام ١٩٤٥ تم إسقاط قنبلة على نجازاكى فى اليابان وكانت تسمى (Fat Man) وكانت تحتوى على(Pu-239). كلا هاتين القنبلتين قامتا بالتدمير الـشديد للمدنيين وقتلت العديد من آلاف الأشخاص. ولم يكن العالم عندئذ قد شهد مثل هـذا الـتدمير فـى حجمـه وفـى سـرعته انـتهت الحـرب العالمية الثانية بالثالوث المقدس للقـنابل وهـم الجامـيو القنـبلة التـى فجرت فى نيومكسيكو فى الولايات المتحدة، وقنبلة الـولد الـصغير وهـى قنـبلة اليورانـيوم التـى أحالـت هيروشـيما إلى بخار، وقنبلة الرجل السمين البلوتونيوم التى طحنت وحرقت نجازاكى.

نموذج للقنبلة الذرية، حيث كتلتين دون الحرجة للمادة الانشطارية يكون فى جزئين

(2 Sections) للأنبوب شكل (١٦/١)



شكل (١٦/١) مخطط لقنبلة النيترون

يـتم دفـع جـزء نحـو الآخـر لتكوين الكتلة فائقة الحرج (Supercritical) بواسطة مادة تفجـير كـيماوية عـادة مـثل (TNT). هذا يؤدى إلى الانفجار. يحدث انطلاق لكم ضخم من الطاقة الحرارية وكذلك العديد من النويات الاشعاعية القاتلة فى هذا الانفجار.

الغبار المشع والحطام المتكون من الانفجار النووى يسمى السقوط (Fallout).

وقود البلوتونيوم الخطير (plutonium fuel-perils) :

- البلوتونيوم (PU-239) هو أشد المواد سميه.
- يمكنه أن يسبب سرطان الرئة عند الاستنشاق حتى كمية 10^{-6} من الجرام.
- لـه نـصف عمـر طـويل 2400 سنة، لذلك فإنه عند إنسيابه فى حادث فإن مكان الحادث يظل ملوثاً باستمرار وغير مناسب للعيش فيه.

- يمكن أن يسقط فى أيدى الارهابين واستخدامه فى إنتاج القنابل الذرية.

SR-90 ومعاهدة تحريم الاختبار النووى:

SR-90 And Nuclear Ban Treaty

إختبار الأسلحة النووية يتم عادة فى مكان بعيد مثل الصحراء أو المحيط. مثل هذه الأسلحة تحدث إنشطار نووى. $^{90}_{38}Sr$ هو واحد من النواتج المشعة التى تتكون عند اختبار هذه الأسلحة، وقد كان اختبار الأسلحة النووية بواسطة بعض الدول هو السبب فى دخول Sr-90 إلى الجو. وهى يشبه كيميائيا الكالسيوم ولذلك، فإنه يندمج مع اللبن والعظام. هذا النظير له نشاط بيتا وله نصف عمر 28 سنة. وجود هذا النظير فى جسم الإنسان يمكن أن يسبب الكثير من الأمراض . وقد كان هذا السبب فى توقيع معاهدة عام ١٩٦٣ بين أمريكا وبريطانيا وروسيا لإيقاف التجارب النووية فى الجو.

مثال:

القنبلة النووية التى أسقطت على نجازاكى فى عام ١٩٤٥ قتلت ١٠٠٠٠ شخص. وانطلقت منها طاقة تكافئ تلك بواسطة ٢٠٠٠٠ طن من مادة تى إن تى المتفجرة. احسب مقدار الكتلة التى تحولت إلى طاقة فى هذا الانفجار النووى.

الحل:

واحد طن من مادة TNT = 4.3×10^{9} جول

20000 طن من TNT = $4.3 \times 10^{9} \times 20000$ = 8.6×10^{13} جول

$$Mev = \frac{8.6 \times 10^{13}}{10^{-14} \times 16.012}$$

(حيث واحد Mev = $10^{-14} \times 16.012$ جول)

$$Mev = 5.371 \times 10^{26}$$

$\because$ 931.5 Mev = 1amu = 1.6605×10^{-24} جرام

$$Mev\,5.371 \times 10^{26} = \frac{(1.6605 \times 10^{-24})}{931.5} \times (5371 \times 10^{26})$$ جرام

= واحد جرام

٤ - قنبلة النيوترون - القاتل النظيف:

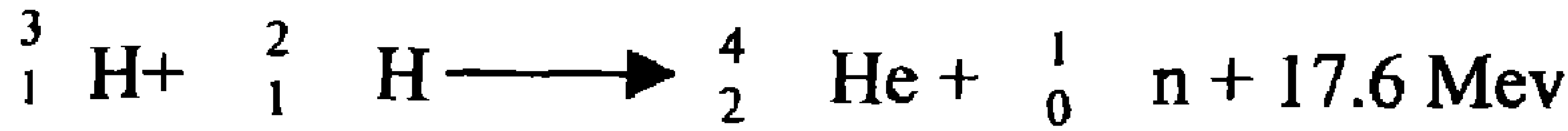
The Neutron Bomb- The Clean killer

قنبلة النيوترون هى تجهيز يجمع ما بين الانشطار والاندماج .

شكل (٢/ ١٦).

فى هذه التجهيزة يستخدم أو لا استخدام الانشطار النووى باستخدام U-235 أو PU-239 .

طاقة الانشطار الناتجة تبدأ فورا فى اندماج H^3 ، H^2 . هذا الاندماج ينتج نيوترونات عالية السرعة.



$${}^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 17.6\ Mev$$

الينوترونات عالية السرعة يمكن أن تخترق الصلب لذلك حتى أن الدبابات المدرعة لا يمكنها توفير الحماية. إشعاعات الينوترون هذه يمكن أن تحدث الشلل للإنسان فى خمسة دقائق وتسبب الوفاة فى فترة من يومين إلى ثلاث أيام. لذلك فإن هذه القنبلة لا تدمر المبانى أو المواد. لذلك، فإنها تسمى القاتل النظيف.

القنبلة تسمى السلاح الاشعاعى القوى - (Enhanced Radiation Weapon).

الفصل السابع عشر

التلوث الإشعاعي والوقاية منه :

Radio / Active And Chemical Pollution

التلوث الإشعاعي:

١- مقدمة :

بالتحلل التلقائي لنوية ذرة (Atomic Nuclie) عناصر معينة مثل الراديوم، اليورانيوم، الثوريوم.. الخ تبعث بروتونات (جسيمات ألفا ∝)، إليكترونات [جسيمات بيتا (B) وأشعة جاما (Y)] موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجه قصيرة جدا. مثل هذه العناصر التى تبعث إشعاعات عند تحللها يقال أنها عناصر مشعة وهذه الصفة تسمى النشاط الإشعاعي.

التلوث الإشعاعي هو التلوث الطبيعى للهواء فى الماء والتربة، بالمواد ذات النشاط الإشعاعي. مخلفات المواد ذات النشاط الإشعاعي التى تنطلق أساسا من الانفجار النووى الحرارى، تشكل تهديدا حادا للكائنات الحية. انتشار النشاط الإشعاعي فى جميع أنحاء العالم يلوث الهواء، التربة، الماء، النباتات، الحيوانات.

٢ – أساسيات الإشعاع:

الإشعاع هو انبعاث طاقة من نقطة المصدر. الإشعاع الكهرومغناطيسي أو إشعاع الجسيمات قادر على إنتاج أيونات، مباشرة أو بطريقة غير مباشرة، بالتفاعل مع المادة يشار له كإشعاع مؤين. الإشعاع المؤين يتم إنتاجه أثناء الاستخدامات الطبية، النووية، الصناعية تضيف أنواع الإشعاع مبني على طول الموجة. الطاقة المصاحبة لنوع معين من الإشعاع تتوقف على طول موجة الإشعاع. كلما قصر طول الموجه كلما ذاد التردد وزادت الطاقة.

$$\text{طول الموجه} = \frac{\text{السرعة}}{\text{التردد}}$$

سرعة الاشعاع تتغير طبقا للمجال التى تسير خلاله.

٢ – القياسات:

أ – إليكترون فولت: (Electron volt)

الإلـيكترون فـولت هـو وحـدة طاقـة تساوى (٦٠٢ x ١ × ١٠ $^{-١٩}$ جول) الإليكترون فولت هو مقياس لطاقة تأين الإشعاع ويرمز له (ev)، آلاف من الإليكترون فولت (Kev) أو ملايـين مـن الإلـيكترون فـولت (Mev)، وهـو الطاقـة المكتـسبة عند المرور خلال فرق الجهد لواحد فولت وهو يكافئ ١,٦ ×١٠ $^{-١٢}$ إرج.

ب- رونتجن (R) Roentgen:

امتـصاص حـوالى ٨٦ إرج (86 Ergs) مـن الطاقـة لكـل جـرام مـن الهواء يمثل واحد رونـتجن. الـرونتجن هـو قـياس للـتأين فـى الهـواء نتيجة لتعرض لأشعة إكس أو لأشعة جاما.

جـ - الراد: Rad:

واحـد راد أو جـرعة إشـعاع ممتـصة، يمـثل امتصاص ١٠٠ إرج لكل جرام من الوسط (Medium) من أى نوع من إشعاع التأين. أشعة إكس العادية للصدر تنتج تعرض لحوالى ٠,١ راد، السلسلة الثقيلة جدا للتشخيص هى حوالى ١٠ راد.

د - الرم: Rem:

الـرم، الـرونتجن، مكافـئ الأشـخاص (Equivalent Men)، يقصد به أن يؤخذ فى الاعتـبار الـتأثيرات البيولوجـية لمخـتلف أنـواع الإشـعاعات مـن نفـس الجـرعة بالـراد (In Rads). لأغـراض الإشـعاع الطبـى، فإن عدد الرم يمكن اعتباره مكافئ لعدد الراد أو الـرنتجن. معامل النوع أو معامل التدمير (Damagefactor-Qf) يستخدم التحويل الراد إلى رم.

م	نوع الإشعاع	معامل النوع Q F
١	لأشعة إكس – أشعة جاما – طاقة، البوزيترونات > ٠,٠٣ Mev،	١ ١
٢	اليكترونات – طاقة بوزيترونات < ٠,٠٣ Mev، طاقة النيوترونات < ١٠ Kev،	٣
٣	البروتونات	١٠
٤	جسيمات الفا	١–١٠
٥		١–٢٠

رم = راد × QF (Rems = Rads x QF)

هـ - كورى وراذرفورد : (Qurie And Rutherford) :

كـورى وراذفـور (rd) همـا وحـدتين للنشاط الإشعاعي. المعدل الذى به ذرات المصادر المشعة (Radionuclide - نويده مشعة من نظير إشعاعى) تتحلل يقاس بالكورى. النشاط الإشـعاعي للعيـنة يقـال إنـه واحـد كـورى إذا حـدث له ٣,٧ × ١٠^١٠ تحلل فى الثانية وواحد رذفورد إذا حدث له ١٠^٦ تحلل فى الثانية.

و - زمن نصف العمر : (Half Life Peroid) :

جـسيمات ألفـا لهـا قـيم تـأين نوعـية ضخمة. فهى تنشر الطاقة سريعا. ولها شحنة كهـربية موجـبة. باعـثات الفا هى العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم، الرصاص، البلوتونيوم والـراديوم. الجـسيمات طبيعـى أنهـا تـشكل خطـورة علـى الـصحة فقط فى شكل إشعاع داخلـى خـلال الهـضم، الاستنشاق أو الجروح المفتوحة. وهذه لا تسبب خطورة خارجية نظر لأنها لا تستطيع إختراق الطبقات الخارجية للجلد.

جسيمات بيتا خفيفة الوزن وتحمل شحنة واحدة. وهى تتأين باستخفاف وزهد (Slightly)، وتنـشر الطاقـة سريعا وهى متوسطة الاختراق ولكن يمكن إيقافها بقليل من الألومنيوم.

جـسيمات بيـتا يمكـن أن تكـون خطـرة سواء كانت إشعاع داخلى أو خارجى بسبب تأين الأنسجة.

أشـعة إكـس وأشـعة جامـا هذه تسير بسرعة الضوء ولكن التردد يختلف. أشعة إكس وأشـعة جامـا لهمـا شده اختراق عالية مقارنة بجسيمات ألفا وبيتا. وهما يشكلان الخطر الرئيـسى على الصحة للإشعاع الخارجى رغم أن أشعة جاما يمكن أن تكون خطرة كذلك كإشعاع داخلى.

النـيترونات هى جسيمات ليس لها شحنة وذات طاقة عالية ويمكن أن يكون لها كلا مـن الـتأثيرات الفـسيولوجية والقـدرة علـى جعـل المـواد الأخـرى ذات النـشاط إشعاعى (Radion Active) الينترونات يمكن أن تشكل المشاكل الرئيسية حول المفاعلات النووية النويده المشعة من نظير إشعاعى (Radionulides) هى نظير إشعاعى لعنصر.

مصادر التلوث الإشعاعي:

المصدرين الرئيسيتين للتلوث الإشعاعي هما الطبيعى وبصنع الإنسان.

المصادر الطبيعية:

وهذه تشمل الأشعة الكونية (Cosmic Rays) والتى هى إشعاعات سريعة الحركة وذات إشعاعات نشطة (Energetic) التى تصل إلى الأرض من الفضاء الخارجى. كثافة أو شدة الإشعاعات الكونية فى المحيط الحيوى (Biosphere) تكون منخفضة ولذلك فإنها لا تشكل خطورة على الصحة العامة ولكنها مصدر خطر رئيسى فى الفضاء.

الإشعاعات الأرضية من النويات (نواه الذرة) للعناصر المشعة الموجودة فى الصخور، التربة والماء تمثل مصادر طبيعية للتلوث الإشعاعي. تلك العناصر تشمل اليورانيوم ٢٣٥ ،اليورانيوم ٢٣٨، الراديوم ٢٢٤، الثوريم ٢٣٢ والكربون ١٤.

المصادر بفعل الإنسان:

من المصادر المشعة بفعل الإنسان هى اختبارات الأسحلة النووية، منشآت إنتاج الطاقة النووية، استخراج وتنقية البلوتونيوم والثوريوم وتحضير النظائر المشعة.

أ — الأسلحة النووية:

تشمل تجارب الأسلحة النووية الآتى:

- استخدام انشطار اليورانيوم ٢٣٥، البلوتونيوم ٢٣٩.
- الهيدروجين أو الليثيوم كمادة اندماج.

الانفجارات النووية هى تفاعلات تسلسل حرة غير مسيطر عليها، فهى تنتج حالات من التدفقات الضخمة من النيوترونات التى تسبب الخاصية الإشعاعية لمواد أخرى فى البيئة المحيطة.

يتم دفع سحب ضخمة من الجسيمات المشعة والغازات إلى أعلا فى البيئة وتحمل إلى مساحات بعيدة بواسطة طاقة الرياح. وبالتدريج ترسب هذه على الأرض بثقلها أو أن يفعل الأمطار . ومن بين المواد الساقطة الاسترنشيوم ٩٠، الأيودين ١٣١، السيزيوم ١٣٧، المنتجات المتفجرة الغير مستخدمة ومنتجات المواد المشعة الساقطة. عند سقوط الأمطار المحتوية على هذه المواد المشعة على سطح الأرض، فإن الخاصية الإشعاعية تنتقل إلى حبيبات التربة مسببة تلوث التربة. يتم غسيل تلك المواد المشعة من التربة إلى

مختلف مصادر المياه حيث تمتصها الكائنات المائية ويحدث تراكم لها خلال السلسلة الغذائية حيث يمكن أن تصل إلى الإنسان.

٢ – المفاعلات النووية والوقود النووى:

فى محطة الطاقة النووية تشمل خطة العمل إدخال الوقود النووى المجهز، الانشطار، وعمليات التنشيط والعمليات الحرارية. الوقود المستخدم لتحلل الذرات هو عادة النظير المشع يورانيوم - ٢٣٥ فى هذه العملية تنطلق كمية ضخمة من الطاقة فى شكل حرارة التى تستخدم لإنتاج البخار لتشغيل التربينات الضخمة لإنتاج الكهرباء.

كلا من عناصر الوقود والمبردات هى مصادر للتلوث الإشعاعي. بجانب ذلك، فإن التخلص من المخلفات المشعة من المفاعلات النووية هو مشكلة كبيرة ذلك لأن منتجات الانشطار والتنشيط فيها تعتبر خطيرة للكائنات الحية. حتى فى حالة دفن هذه المخلفات فى خزانات تحت الأرض للتحلل الطبيعى، فإنها يمكن أن تصبح حره وتهرب إلى المجال المحيط.

٣ – النظائر المشعة : (Radio Active Isotopes)

عدد كبير من النظائر المشعة مثل اليود - ١٢٥، الكربون ١٤، الفسفور ٣٢ و مركباتهم استخدمت فى عمليات بحثية كثيرة. مياه الصرف من هذه المنشآت البحثية تصل إلى مختلف مصادر المياه مثل الأنهار، المجارى المائية، البحيرات.. الخ. خلال مواسير الصرف حيث تسبب تلوثا للمياه كذلك فإن اليود المشع والفوسفور المشع يصل إلى السلسلة الغذائية خلال الماء وأخيرا يمكن أن يصل إلى الإنسان خلال الأسماك.

٤ – مصادر أخرى:

يدخل جسم الإنسان تركيزات مختلفة من الإشعاعات أثناء مختلف المعالجات الطبية، فمثلا أشعة إكس هى العادية للكشف عن الاضطراب فى الجهاز الهضمى، علاج مرضى السرطان عادة يحتوى على الراديوم وإشعاعات نظير آخر. يقدر أنه يؤخذ سنويا ٢٤٠ مليون أشعة إكس وأسنان وأن ١٥ مليون اختبار باستخدام المواد المشعة للتتبع (Traces) يتم عملها فى جسم الإنسان كذلك.

الأنواع العادية الإشعاع المتأين هى أشعة إكس والتى يتم تحضيرها بواسطة معدة التصوير الإشعاعي (Radiographic)، معدات العلاج بأشعة إكس، أشعة إكس للأسنان التى يمكن أن تخترق عند فرق جهد حوالى ١٠ كيلو فولت تنتج إشعاع أكثر اختراقا

ويمكن أن يكون أكثر خطورة، في حالة عدم احتوائه جيدا. وهذه تشمل نظام العرض التليفزيوني عالى الفولت، أجهزة التليفزيون الملونة، الميكروسكوبات الإليكترونية، أنبوب تقل الإشعاع، أنبوب تعديل الفولت العالى.. إلخ.

من بين المواد المشعة المستخدم عادة والموجود طبيعيا هو اليورانيوم، البلوتونيوم، أستيلينوم (Actinium)، والثوريوم.

تأثيرات الملوث المشع:

إنه منذ إختراع القنبلة النووية فإن الجنس البشرى يواجه التهديد بالحرب النووية. لذلك، من المهم معرفة درجة الضرر الذى يمكن أن تسببه الإشعاعات المخترقة ذات الطاقة العالية للكائنات الحية. عند مرور جسم نووى بطاقة عالية أو أشعة جاما خلال أى مادة، فإنه يؤين الذرات التى يقابلها فى طريقة وذلك بخبط الإليكترونات فيها يتوقف تأثير الملوثات المشعة على:

أ – قوة الإشعاع والتى بدورها تتحدد بدرجة التأين الناتجة عند المرور خلال المادة.

ب– الفترة الزمنية الذى حدث خلالها التعرض بالإشعاع.

جـ – معدل انتشار الملوث الإشعاعي.

د– فترة نصف العمر للملوث الإشعاعي.

هـ – الظروف المناخية.

التلف الذى يحدث لجسم الإنسان بواسطة الاختراق لهذه الأشعة يعتمد على:

أ – الجرعة.

ب – معدل الجرعة.

جـ – الجزء المعرض من الجسم.

فى حالة الجرعات الإشعاعية العالية فإنها يمكن أن تسبب الموت الفورى بينما فى حالة الجرعات المنخفضة فإنها تفسد أو تتلف الوظائف العضوية للجسم.

بدون حدوث أضرار مستمرة فإن اليد والقدم يمكن أن يتحمل جرعة أكبر من الإشعاع مقارنة بأجزاء أخرى من الجسم عند مرور للإشعاعات النووية وأشعة إكس خلال الخلايا الوراثية (Genetic Cells) فإنها تؤثر على الكروموزمات (الكروموزم هو جسم خيطى كروماتينى يظهر فى نواه الخلية عند الانقسام). عند تأثر الخلايا الوراثية عندئذ تكون النتائج خطيرة لأن الجينات أو الموروثات (Gens) قد تأثرت أى أنه حدث تغير إحيائى

وراثـى مفاجـئ (Mutation). هذا التغير الإحيائى الوراثى عادة ينقل من جيل إلى جيل لـذلك فـإن الـتلف يكـون مـوروثا بذريـة الجيل الذى تأثر من بين التأثيرات طويلة المدى للـتلوث الإشـعاعي هـى الأمـراض الأورام أو المـتعلقة بالـورم أو شـبيه بـه (Tumours) السرطان التغيرات فى النمو.

بعض الخلايا تكون أكث عرضه للضرر بواسطة الإشعاعات فمثلا:

أ — النمو النشط للخلايا.

ب — التقـسيم النـشط للخلايا (ذلك هو سبب تدمير الخلايا السرطانية بالإشعاع ذلك لأنها كذلك تنسب إلى نوع النمو النشط).

جـ – خلايـا نخـاع العظـام (Bone Marrow Cells) التـى تنتج خلايا الدم الحية (Corpuscles).

د — خلايا الجلد.

هـ – خلايا التناسل والإنجاب.

و — الجنين أو حالة الحمل.

خلايا أخرى الأقل تعرض للتلف بالإشعاع هى:

أ — العضلات.

ب — العظام.

جـ – الأنسجة العصبية.

القـصف الـذرى لليابان (عـام ١٩٤٥) نـتج عـنه وفـيات كـثيرة بسبب النمو الضار، ابيـضاض الـدم (Leu Kemia)، الـسرطان. كثيرا من الأطفال يحدث لهم تخلف عقلى، تشوه خلقى.

الملوثات التى تسقط فى الحقول تجد طريقها نحو نباتات غذاء الحيوان التى تنمو فى هـذه الحقـول. الأطفـال الـذين يـشربون اللـبن مـثل هـذه القطعـان يحدث لها تشوه لأن الملـوثات ذات النـشاط الإشـعاعي مثل الاسترنشيوم ٤٠ تترسب فى العظام بنفس الطريقة مثل الكالسيوم تسبب مرض سرطان العظام.

اليود ١٣١ يتلف خلايا الدم البيضاء، نخاع العظام، ورم النسيج اللمفاوى، الطحال، ويسبب الأورام، سرطان الجلد، عيوب فى النظر.

الملوثات المشعة تؤثر كذلك على النباتات والحيوانات. بعض الحيوانات تراكم نويات معينة (Nuclides) فمثلاً، المحار من الرخويات البحرية يرسب Zn 6،الأسماك ترسب ^{55}Fe والحيوانات البحرية تلتقط ^{65}Zn.

الجدول الآتي يوضح التعرض الإشعاعي للفرد فى الولايات المتحدة:

المصادر	الجرعة(ملى ريم فى العام)
الخلفية الطبيعية.	١٣٠
العلاج الطبى بأشعة إكس	٩٠
اختيارات الأسلحة النووية	٥,١
محطات الطاقة النووية.	٠,٠١

الجدول الآتى يوضح تأثير الإشعاع على كل الجسم:

جرعة رونجتن	التأثير المحتمل
صفر — ٦٠	لا تأثير واضح عدا احتمال تغيرات قليلة فى الدم.
١٥٠ — ٢٥٠	القيء ودوار البحر لمدة حوالى يوم واحد، يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي لحوالى ٥٠٪ من الأشخاص لا يتوقع حدوث وفيات.
٢٠٠ — ٤٠٠	القيء ودوار البحر لمدة يوم واحد يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي لحوالى ٥٠٪ من الأشخاص. يتوقع حدوث وفيات بنسبة ١٠٪
٣٥٠ — ٥٥٠	القيء ودوار البحر لكل الأشخاص تقريبا فى اليوم الأول، يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي. الوفيات المتوقعة حوالى ٢٥٪.
٥٥٠ — ٧٥٠	القيء ودوار البحر لكل الأشخاص فى اليوم الأول، يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي. حوالى ٥٠٪ وفيات خلال شهر واحد.
١٠٠٠	القيء ودوار البحر لكل الأشخاص خلال ١- ٢ ساعة. احتمال لا يوجد أحياء.
٥٠٠٠	الوهن الفورى وكل المعرضين سيهلكوا خلال ساعة واحدة.

الجدول الآتى يوضح أقصى جرعة إشعاعية مكافئة مسموح بها :

	أقصى جرعة ١٣– أسبوع بالرم	أقصى جرعة كل عام بالرم	أقصى جـرعة/ متراكمة بالرم
مساحات التحكم للجسم	٣	٥	٥ – ١٨
الغدد – عدسات العين – نخاع العظام	–	١٥	–
الأحمر	٢٥	٧٥	
الجلد بخلاف اليدين والأجزاء الأمامية	١٠	٣٠	
الأيدى			
الأجزاء الأمامية، أعضاء أخرى، أنسجة	٥	١٥	
وأجهزة عضوية أخرى.		٠,٠٥،	
مساحات غير محكمة تعرض أحيانا		٠,١٧ متوسط.	
حدود الجرعة للسكان			

لـيكون الخطر عند أدناه وفى الحدود المقبولة، فإن أقصى جرعة مسموح بها إقترحت بواسطة المؤتمر الدولى للحماية الإشعاعية وجهات أخرى،

الجدول الآتى يوضح أقصى جرعة مسموح بها :

الأعضاء ذات الأنسجة	إشعاعات الكبار (ريم فى العام)،	أعضاء المجتمع (ريم فى العام)
الغدد، نخاع العظام،	٥	٠,٥
الجلد، العظام،	٣٠	٣,٠
الغدة الدرقية Thyroid،	٣٠	٣,٠
الأطراف،	٧٥	٧,٥
أعضاء متفردة أخرى	١٥	١,٥

التحكم فى التلوث الإشعاعي :

التحكم فى التلوث الإشعاعي يتم بالتفعيل الحازم لإجراءات الأمان الآتية :

(١) – الحماية من التعرض الإشعاعي :

المبادئ الثلاث للحماية من الإشعاعات هى المسافة، زمن التعرض، نظام الوقاية لعزل الإشـعاع. يقل التعرض مع مربع المسافة من المصدر. زمن التعرض يجب أن يكون أقل ما

يمكن لتنفيذ عمل معين. في حالة المتطلبات السكانية فإن التعرض الكلى يجب ان يكون أقل من أقصى جرعة.

العزل (Shielding) هو إيجاد مادة تهدئة كثيفة (مادة عزل) ما بين مصدر الإشعاع والمجال المحيط وذلك لخفض أو لإيقاف مسار الإشعاع. أثناء الفحوص الطبية يجب تفعيل الإجراءات الآتية:

أ – التوصيف الطبى لشرائح أشعة إكس يجب أن يكون للحصول على معلومات عن التشخيص الطبى وأن يكون بناءا على تقديرات للتحليل الطبى.

ب – تجنب أشعة إكس الروتينية مثل:

- الكشف بأشعة إكس على الصدر وأسفل الظهر فى شكل كشف دورى روتينى.
- صور الأشعة على الصدر فى الحالات الروتينية قبل الولادة.
- فحص درنات السل (وعزلها) بالأشعة الصدرية.

جـ – معدة أشعة إكس من أعلا نوع التى تعمل وتصان بواسطة عناصر مؤهلة ومدربة.

د – الحماية المناسبة ليكون التعرض محدودا للجزء المطلوب من الجسم.

الحماية من التلوث الإشعاعي:

الجسيمات المشعة تشكل خطورة عند استنشاقها. فهى تشع فى الجسم باستمرار حتى تنتهي. يمكن خفض هذا باستخدام أغطية الرأس المعملية، مرشحات الهواء، ونظم سحب العادم، تجنب الكنس الجاف، ارتداء ملابس الوقاية ومؤشرات الإشعاع (لمعرفة الكمية الكلية من الإشعاع التى تعرض لها الشخص)، استخدام الأقنعة المانعة لاستنشاق الغازات الملوثة، عند ظهور الحاجة إليها ومنع التدخين وتناول الطعام حيث تستخدم المواد المشعة. دلائل الحماية من الإشعاع للماء والغذاء والهواء هى كالآتى:

أ – الماء : أقصى حد للإشعاع فى مياة الشرب:

الملوث	أقصى مستوى بيكو كورى/ لتر
كلا من الراديو ٢٢٦، الراديوم ٢٢٨ معا	٥
النشاط الكلى لجسيم ألفا	١٥
التريتيوم	٢٠,٠٠٠
الاسترنشيوم – ٩٠	٨
النشاط الكلى لجسيم بيتا.	٥٠.

ب – الغذاء:

المصادر الرئيسية للإشعاع فى الغذاء هى التى من صنع الإنسان وسقطت على الأرض الزراعية، مادة مثل الاسترنشيوم، السيزيوم، اليود 131، قد تصل إلى النبات خلال الجذور وتجد طريقها نحو الغذاء. ألبان القطعان المنتجة للألبان تكون ملوثة فى حالة أكل الأعشاب والحشائش الملوثة. هذا اللبن يمكن استخدامه فى صناعة الزبد وفى صناعة اللبن المجفف وفى صناعة الجبن.

جـ – الهواء:

تلوث الهواء بالمواد المشعة يمكن ان يكون من الانفجارات النووية، ومن المفاعلات النووية، ومن تصنيع الوقود النووى، ومن التسرب الغير معتمد وكذلك المصدر الطبيعى. أقصى مستوى مسموح به هو ١٠٠ – mr١٥٠ فى العام. الانفجارات النووية واستخدام الأسلحة النووية يجب الحد منها كلية. تسرب العناصر المشعة من المفاعلات النووية ومن محطات إنتاج الطاقة بالوقود النووى يجب مراجعتها من آن إلى آخر.

(٣) – المساحة المحكمة:

المساحات المسببة أو التى تسمح بالتعرض الإشعاعي يجب أن يكون الوصول إليها محكم وأن يتم تعليمها " كمنطقة محظورة" أو كمنطقة إشعاع".. الخ. يتم المراجعة بانتظام لمستوى التلوث الإشعاعي فى المساحات ذات الخطورة الكبيرة. العوازل أو الحوائط المقاومة للإشعاع يجب إنشائها لحماية العاملين من المواد المشعة.

(٤) – الجمع والتخزين والتخلص:

المواد المشعة يجب أن يتم تحويلها إلى الشكل الغير ضار أو أن يتم تخزينها فى طبقات عميقة من اليابسة (Lithosphere) حيث يمكن أن يحدث التحلل التدريجى الغير ضار.

المخلفات السائلة والصلبة يمكن أن يكون مصدرها معامل كشف الأنشطة الإشعاعية (Radioscopic)، مصانع الصناعات الكيميائية، المفاعلات النووية.. الخ. مخلفات الصلبة ذات النشاط المنخفض يتم جمعها فى أوعية مبطنة بالورق أو بالبلاستيك ويتم التخلص منها بطريقة مقننه (الحرق أو الردم الأرضى). المخلفات الصلبة ذات النشاط الإشعاعي العالى يتم وضعها فى أوعية محجبة (Shielded). المخلفات ذات المستوى

المنخفض السائلة أو الغازية عادة يتم تخفيفها أو تشتتها إلى أقصى حد مسموح به قبل التخلص . المخلفات ذات المستوى العالى الصلبة والسائلة يتم تركيزها وحفظها. المخلفات ذات المستوى العالى غالبا مخلفات سائلة من محطات الطاقة النووية وتظل مشكلة يصعب حلها نظر لطول عمر النشاط الإشعاعي الموجود.

المخلفات المشعة ذات المستوى العالى يمكن تثبيتها فى مادة صلبة خاملة للتخلص فى مساحة أو إمكان استخدام وعاء زجاجى خاص لتخزينها هذه الأوعية الزجاجية تظل عند ١٠٠ — ١٥٠°م ويعتقد أنها تظل لملايين السنين. المحاولات هى لتحويل هذه المخلفات إلى مادة زجاجية. يمكن أن يسمح بالتخلص الأرضى للمخلفات ذات المستوى المنخفض والمتوسط مع الظروف المناسبة للتربة، والصخور والمياه الجوفية. طرق التخلص الأخرى التى تؤخذ فى الاعتبار هى الكهوف الواسعة أو المغارات، المنجم العميق، التشققات المالحة، التخلص فى الآبار العميقة وفى المحيطات، ولكن كل من هذه يتطلب تقدير حذر قبل السماح به. لأفضل نتيجة مؤثرة، فإنه يلزم عمل برنامج رصد بيئى والذى يسبقه استطلاع تحضيرى فى وحول المنشأة النووية والذى يفيد فى مراجعة العمليات المختلفة التى يمكن أن تنتج التلوث.

التلوث الإشعاعي هو تهديد خطير للحياة ذلك لأن الأشخاص المعرضين لمخاطر الإشعاع لا يستشعروا النتائج الميتة والغير مرئية. التأثيرات الضارة للإشعاعات يتم الشعور بها لسنوات. بالنظر إلى التدمير الكبير لحياة الإنسان والحيوان والنبات، النتائج المأساوية المترتبة على التلوث الإشعاعي، فالحقيقة أنه لا توجد جرعة آمنة ولا علاج للتلف بسبب الإشعاعات. ويجب على البشرية التوقف عن السباق فى السلاح النووي.

الملاحق

ملحق (أ)

ملحق (ب)

ملحق (جـ)

ملحق (د)

ملحق (هـ)

ملحق (و)

ملحق (ز)

ملحق (أ)

معانى المصطلحات: (Glossary)

١- Accelerator:

تعنى المعجل وهى جهاز مصمم لانتاج جسيمات ذات طاقة عالية.

٢- Alphn Dacay: تحلل ألفا هو إنبعاث جسيمات ألفا بواسطة نوية مشعة.

٣- Alpha Particle:

جسيم الفا وهو جسيم ذو شحنة موجبة تكون من إثنين من البروتونات وإثنين من النيوترونات. هذه الجسيمات تنبعث بواسطة مواد معينة مشعة ويمكن إيقافها بواسطة قطعة من الورق.

٤- Annhilaticn Radiation:

إشعاع ينبعث نتيجة فناء ودثور B^+ بواسطة تفاعلها مع إليكترون سالب.

٥- Antimatter:

الجسيمات التى تفنى كلا من نفسها وملحقاتها فى المادة العادية عند الالتصاق معا.

٦- Antineutnino:

جسيمات بدون شحنة وبدون كتلة تنبعث مع الإليكترون فى عملية الاشعاع.

٧- Artificial Isotope:

نظير غير موجود فى الطبيعة وينتج صناعيا بفعل الإنسان.

٨- Artifical Radioactivity:

تحلل النظائر المشعة التى صنعها الإنسان.

٩- Atom:

أصغر جزء للعنصر الذى له كل صفات هذا العنصر.

١٠- Atomic Energy:

الطاقة المنتجة من نواه الذرة، خاصة بالانشطار، فى هذه العملية تتحول الكتلة إلى طاقة. الطاقة الذرية تنتج من إستعادة التنظيم خلال داخل الذرة.

١١- Atomic Number:

الرقم الذرى هو رقم البروتونات (أو عدد الشحنات الموجبة) فى نواه الذرة.

١٢- Atomic Smashing:

إحداث التفاعلات النووية، خاصة الانشطار.

١٣- Autordiography:

تقنية مكان الذرات المشعة التى تدخل فى العينة البيولوجية أو عينة أخرى بوضع العينة ملتصقة مع مستحلب فوتوغرافى. الاشعاع، المار خلال الفيلم، يستحث حبيبات الفضة، والتى عند التحميض، تظهر مكان الذرات المشعة فى العينة.

١٤- Average Binding Ebergy:

طاقة الرباط للنواه لكل نيوكلون (Nucleon). (النيوكلون هو الإسم العادي للجسيمات النووية البروتونات والنيوترونات)

١٥- To – Average Life – Time-:

هو مقلوب ثابت التحلل $Ta = \frac{1}{\lambda}$.

١٦- Background Radiation: الإشعاعية الطبيعية في البيئة.

معظم الإشعاعية الطبيعية تنتج من الأشعة الكونية التي تأتي من الفضاء الخارجي والإشعاع من الرواسب المعدنية الطبيعية المشعة.

١٧- Barn:

وحدة المقطع ($b = 10^{-24}$ cm)، مقياس للمساحة. مقدار المقطع يتوقف ليس فقط على خواص المادة التي تمر خلالها الأشعة، ولكن كذلك على خواص الأشعة نفسها.

١٨- Beta decay:

تحلل بيتا هو ابتعاث إليكترون، ابتعاث بوزيترون أو اقتناص إليكترون بواسطة ذرة نظائرية متميزة بتركيب نواتها وانحلالها الإشعاعي (Radioactive Nuclide).

١٩- Beta Particle:

إليكترون أو بوزيترون سريع التحرك (Fast Moving) الذي ينبعث من الذرات الغير مستقرة والتي تصبح مستقرة. هذه الجسيمات يمكن إيقافها بواسطة رقائق الألومونيوم.

٢٠- Binding Energy Pernucleon:

طاقة الرباط النووي للنواة مقسومًا على عدد النويات (Nucleons) (والذي هو أحادي العدد الكتلي كالبروتون والنيوترون).

٢١- Bohr Magneton:

وحدة عزم الإليكترون = ($eh / 4 \pi mc_e$)

٢٢- (BWR): Boiling Water Reactor:

المفاعل النووي الذي فيه الحرارة من قضبان الوقود تسبب الغليان لمياه التبريد.

البخار من الماء المغلي يستخدم لتشغيل تربين لتوليد الطاقة.

٢٣- Bombardment:

قـذف، وهـي العملـية الـتي بهـا تقذف النواة بواسطة جسم متحرك (قذيفة) عادة بطاقة (10 Mev)، هـذا يؤدي إلى نواة جديدة. يمكن كذلك تكوين بعض الأجسام وإشعاع جاما بالإضافة إلى النواة المنتجة.

٢٤- Branched Disintigration:

يعنى حدوث التحلل بطريقتين للعنصر من السلسلة الإشعاعية.

٢٥- Bubble Chamnre:

غـرفة الفقاعـة عبارة عن جهاز الذى يسجل المسارات الناتجة بالجسيمات ذات الشحنة التـى تمـر خلالهـا. عادة الغرفة تكون مملوءة بغاز مسال ذو درجة حرارة منخفضة، مثل الهيدروجين، الذى يكون فقاعات عند مرور الغاز خلاله.

٢٦- Capturey - Rays:

أشعة جاما المنبعثة فى المفاعل النووى لاقتناص الإشعاع.

٢٧- Cathode Rays:

تدفقات من الإليكترونات من الكاثود نحو الآنود فى أنبوب تفريغ الغاز.

٢٨- Chain Fission:

تفاعـل الانشطار الذى يساعد على تكرار نفسه. بعض من النيوترونات التى تنتجها النواه التـى تم إنقسامها تـصطدم بنوية (Nuclei) أخرى، والتى تفرز نيوترونات وهذه تصطدم مع أكثر من نوبة. عندئذ التفاعل يستمر ليكرر نفسه.

٢٩- Cloudchambre:

غـرفة الـسحاب هـى تجهيـزه لكشف الجسيمات التى تؤثر فى تكثيف البخار بالإشعاع الساقط.

٣٠- Compound Nucleus:

الحالـة المـثارة (حالـة متوسطة) تكونت أثناء الانتقال الذى يتكون باقتناص القذيفة بنواة الهدف.

٣١- Control Rods:

قـضبان الـتحكم هـى تجهيـزات يـتم رفعهـا أو خفـضها فـى قلـب المفاعـل لامتـصاص النيوترونات وتنظيم سرعة التفاعل المتسلسل.

٣٢- Coolant:

المبرد هو مادة تستخدم فى تبريد المفاعل. عادة يستخدم الماء لهذا الغرض.

٣٣- Cosmic Rays:

الأشعة الكونية هى أشعة لجسيمات عالية الطاقة التى تصطدم على الأرض من مصادر فى الفضاء الخراجى.

٣٤- Critical Size For Fission:

حجم معين للنظام المحتوى على مادة إنشطارية حيث عدد النيوترونات المنتجة فى عملية الإنشطار توازن تماما تلك التى تفقد بالتسرب وبالاقتناص بحيث يحدث إنشطار مستقر.

٣٥- Coulomb:

الكولومب هو وحدة الشحنة الكهربية وهو واحد أمبير من التيار الذى يسرى خلال ثانية واحدة.

٣٦- Coulmb Force:

قوة الكولومب: هى قوة الإنجذاب أو التنافر الكهربى بين جسيمات حاملة للشحنة.

٣٧- Curie Cci:

الكورى هو وحدة النشاط الاشعاعى وهو يعادل ٣,٧ × ١٠^١٠ من التحللات (Disitegrations) أو التحطم فى الثانية.

٣٨- Cyclotoron:

السيكلوترون هو تجهيزه لإسراع الأيونات الموجبة إلى الملايين من الفولتات الاليكترونية. أول تصميم لهذا كان عام ١٩٢٩.

٣٩- Cyclotron Reactions:

تفاعلات نوية (Nuclie) الهدف مع مقذوفات ذات طاقة عالية، التى تم إسراعها بواسطة السيكلوترون.

٤٠- Daughter Element:

العنصر الذى تكون كمنتج رئيسى من تحلل الذرة المشعة.

٤١- Deuterium:

نظير الهيدروجين الذى له نواه تحتوى على واحد نيوترون وواحد بروتون وهو حوالى ضعف ثقل نواة الهيدروجين الطبيعى، والتى لها واحد بروتون فقط. الاسم الآخر للديتيريوم هو الهيدروجين الثقيل.

٤٢- Deutron:

الديوترون هو نواة الهيدروجين الثقيل التى تتكون من بروتون مرتبط بنيوترون.

٤٣- Disintegration Energy Of Nuclear Reaction Energy - (Q):

يعنى التغير فى الطاقة الناتج عن التفاعل النووى، وهو يساوى الفرق فى الكتل للجسيمات الأولية والنهائية فى حالة الوضع الطاقى الأدنى للذرة (الهمود).

٤٤- Electromagnetic Wave:

الموجه التى تأتى من فعل القوى الكهربية والمغناطيسية التى تتحرك عند سرعة الضوء.

٤٥- Electron:

جسيم من مكونات الذرة حامل لشحنة سالبة.

٤٦- Electron Capture:

عملية إشعاعية التى فيها اليكترون مدارى (عادة إليكترون K) يتم إقتناصه بواسطة النواه بما يؤدى إلى تحويل البروتون إلى نيوترون، بذا تزداد نسبة n : P للنواة.

٤٧- (Electrostatic unit Charge - (Iesu):

الشحنة التى عند وضعها فى الفراغ بيعدا عن شحنة مماثلة ومساوية بواحد سم، سوف ينفرها ويصدها بقوة واحد داين (dyne).

٤٨- Enhanced Radiation Weapon - Erw:

مثل قنبلة النيوترون.

٤٩- Exchange Forces:

القوى الناتجة من إنتقال الشحنة الكهربية فى شكل إليكترون أو بوزيترون، من نيو كليون (Nucleon) إلى آخر، لقد إفترض (Hiesenberg) أن مثل هذه القوى هى التى تسبب كلا من تفاعلات الجذب أو التنافر للنويات (Nucleons).

٥٠- Fertile Nuclide:

النظير الذى لا يمكن أن ينشطر بسهولة ولكن الذى يمكن تحويله إلى نواه سهلة الانشطار، خاصة بالنيوترونات الحرارية (مثل: U-238).

٥١- Nuclides

Fissile : النظير الذي يمكن أن ينشطر بسهولة بالنيوترونات ذات أي طاقة (مثال: U-235).

٥٢- Fissionable Nuclides:

هذه هى النويات مثل: U238، Th-232، التى لها عتبة إنشطار (I Mev): هذه لايمكن إنشطارها إذا كانت طاقة النيوترون أقل من I Mev.

٥٣- Fission Critical Energy (Activation Energy):

أدنى طاقة يلزم توفيرها للنواه الأصلية لتغييرها إلى الحالة حيث طاقة التنافر الكهروستاتيكية تتغلب على الطاقة السطحية المقاومة للتغير هذه الطاقة تتناسب مع ($Z^2 / A^{1/3}$).

٥٤- Fission Products:

نواتج الانشطار. الذرات المتكونة عند إنقسام اليورانيوم فى المفاعل النووى. هذه النواتج عادة تكون مشعة.

٥٥- Fission Yield:

إنتاجية الانشطار. إنتاجية الانشطار للنوية هو جزء أو نسبة من العدد الكلى للإنشطارات والذى يؤدى إلى النوية مباشرة أو بطريقة غير مباشرة.

٥٦- Gamma Rays:

إشعاعات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية، تشبة فى صفتها لأشعة إكس ، الأشعة فوق البنفسجية، الضوء المرئى، والأشعة تحت الحمراء والموجات اللاسكليكة.

٥٧- Gamma Transition:

عملية النواه فى حالة الإثارة معطية طاقة إثارتها والعودة إلى حالة الهمود.

٥٨- Gaseous Diffusing Plant:

المحطة حيث يتم تخصيب اليورانيوم فى U-235 بالتسرب الغازى لفلوريدات نظائر اليورانيوم.

٥٩- Geiger Muller Counter:

التجهيز المستخدم للكشف عن الإشعاع وقياسه.

٦٠- Gegiger - Muttal rule:

المسطرة التى تربط علاقة ثابت التحلل مع مجال ألفا.

R : Log = a + b Log R

٦١- Glovwe Box:

التجهيزة حيث بداخلها العمليات الخاصة المواد المشعة تتم بأمان خلال زوج من القفازات مرتبطين بها، Dry Box هو الاسم البديل لهذا الصندوق.

٦٢- Half Life:
الزمن اللازم لتحلل نصف الذرات فى عينة مشعة.
٦٣- Health Physics:
ما هو متعلق بحماية الأشخاص الذين يواجهوا مخاطر الإشعاعات.
٦٤- High - Energy Fission:
حيث تستخدم مقذوفات ذات طاقة عالية (100 - 140 Mev) لإحداث الانشطار.
٦٥- High Energy Nudear Reactions:
التفاعلات التى تتم بمقذوفات ذات طاقة عالية (أكبر من 50 Mev) والذى يحدث بتصادمات الجسيمات الساقطة مع النيوكلون (البروتونات والنيوترونات) خلال نواة الهدف، لا يحدث مشاركة لطاقة الجسيم الساقط بكل النويات. عندئذ فإن النوية التى يتم قذفها بالجسيمات الساقطة تقذف فى الاتجاه الأمامى..
٦٦- Ionizing Radiation:
الأشعة ذات الطاقة الكافية لإزالة الإليكترونات من ذرات العناصر التى تمر خلالها، وبذا مكونه أيونات.
٦٧- Isobars:
هى النويات ذات نفس الرقم الكتلى (Mass Number) (A)
٦٨- Isomeric Transition:
نوع من النشاط الاشعاعى الذى به تحلل النواه من واحد من حالات الطاقة النووية إلى أخرى.
٦٩- Isotones:
النويات (Nuclides) ذات نفس الرقم الكتلى (A).
٧٠- Isotopes:
النويات ذات نفس الرقم الذرى (Z) ولكن بأرقام مختلفة للينورتونات وبالتالى إختلاف (A) الرقم الكتلى.
٧١- K - Capture:
إقتناص إليكترون K بنواه يؤدى النواه حيث Z أقل عن تلك الأصلية بوحدة واحدة.
٧٢- Laser Fusion:
شعاع ليزر قوى يقذف قذيفة من الوقود بمقدار الطاقة حيث بعض المادة السطحية يحدث له تبخر. موجه الصدمة الناتجة تضغط الوقود عند مركز القذيفة، مسببة ترلاصق النويات وكذلك رفع درجة الحرارة إلى الحد حيث يمكن حدوث الاندماج .

٧٣- Light Water Reactor :

أكثر أنواع المفاعلات النووية الذى يستخدم فيه الماء العادى كمهدئ ومبرد .

٧٤- Linear Energy Transfer (LET):

المعدل الطولى لفقد الطاقة (امتصاص كلى) واسطة جسيم مؤين (Ionizing) الذى يعبر مجال المادة، يعبر عنه بالكيلو إليكترون فولت للميكرون (Kev / m).

٧٥- Liquid Metal Fast Breeder Reactor: ((LMFBR:

مفاعل التوليد الذى يتم تبريدة بتدوير سائل المعدن مثل الصوديوم.

٧٦- Magic Numbers:

عدد معين من النيوترونات والبروتونات الذى يحقق الاستقرار النووى.

٧٧- Magnetic Moment:

خاصية الجسيمات الدوارة التى تعطيها مجال مغناطيسى صغير يشبه لذلك لقضيب المغناطيس.

٧٨- Mass Defect:

الفرق بين كتلة الذرة ومجموع الكتل الحره لمكوناتها.

٧٩- Mass Number : رقم الكتلة (العدد الكتلى).

مجموع عدد البروتونات وعدد النيوترونات فى النواه، الرقم الكلى الأقرب للوزن الذرى للعنصر.

٨٠- Mass Spectrometer:

الجهاز الذى ينشر شعاع من الأيونات الموجبة إلى الطيف المبنى على نسبة الشحنة إلى الكتلة للأيونات.

٨١- Mean Life

متوسط العمر للنواه المشعة هو مقلوب ثابت التحلل (١ ÷ λ).

٨٢- Melt Down:

حادث للمفاعل حيث ينصهر الوقود بسبب ارتفاع درجة الحرارة والتلوث للبيئة بالأشعة الضارة، هذا يمكن أن يحدث بسبب فشل نظام تبريد المفاعل.

٨٣- Meson:

درجة الجسيمات ذات التفاعل القوى وذات دوران التكاملى الشامل ذات كتلة أقل من تلك للبروتون والنيوترون.

٨٤- Metastable Nuclide: نويده أو ذرة نظايرية .
النويدة فى الحالة التى لا تكون فيها مستقرة غالبا فى الظروف المعينة، ولكن تكون مستقرة تماما ليكون لها وجود مستقل تقريبا.

٨٥- Millirem:
وحدة جرعة الاشعاع تساوى ١ ÷ ١٠٠٠ من الرم.

٨٦- Moderator:
المادة المستخدمة لتبطئ النيوترونات السريعة فى المفاعلات ، النيوترونات السريعة تصطدم مع النوية (Nuclie) الموجودة فى المهدى وبذا تبطأ سرعتها.

٨٧- Massbauer Effect:
تشتت الرنين النووى (Nuclear Resonance Scattering):
ظاهرة مساور: إنبعاث شعاع غامى من نواه فى نظام بلورى دون فقد طاقى.
إذا كان تردد الإهتزاز للنواه يساوى لذلك الكم الضوئى (Photon) الساقط، فإنه يمكن حدوث إمتصاص للكم الضوئى، الكم الضوئى عندئ ينبعث من النواه التى أثيرت.

٨٨- Muonic (Mesonic Or Mesic) Atom:
مجموع النواه وجسيم سالب (m, πork) الذى له وجود إنتقالى.

٨٩- Natural Isotopes:
النظائر المستقرة أو المشعة الموجودة فى الطبيعة.

٩٠- Natural Radiation:
الاشعاع الموجود دائما فى الطبيعة من المصادر مثل الأشعة الكونية، المواد المعدنية المشعة، مواد البناء، جسم الإنسان.

٩١- Natural Radioactivity:
تحلل النظائر المشعة الموجودة فى الطبيعة:

٩٢- Neutrino:
جسيم ليس له كتلة وليس له شحنة ينبعث مع البوزيترون.

٩٣- Neutron:
جسيم أساسى فى نواه الذرة له كتلة مثل كتلة البروتون وليس له شحنة.

٩٤- Neutron Bomb:
تجهيزة يحدث لها انشطار وإندماج وانطلاق إشعاعات نيوترون شديدة القوة وشديدة الخطورة.

٩٥- Neutron Number:

عـدد النيوتـرونات فى انواه، وهو الفرق بين العدد الكتلى Mass Number والرقم الذرى (Atomic Number) والذى هو عدد البروتونات أو الشحنات الموجبة فى الذرة.

٩٦- Neutron Reflector: عاكس النيوترون.

المـادة المـستخدمة فـى المفاعل لإنحراف النيوترونات الهاربة من اللب والعودة إلى اللب، يتم ذلك بالتصادمات بين النيوترونات ونويات العاكس (Reflector)

٩٧- Nuclear Bombardment:

قذف وطرق النواه بجسم متحرك.

٩٨- Nuclear Disposal Despository:

انشاءات خاصة للتخلص من المخلفات النووية لتجنب السكان أخطار الإشعاع.

٩٩- Nuclear Energy:

الطاقة المنطلقة عند إنشطار نواه الذرة أو عند إندماج نويتين.

١٠٠- Nuclear Excitation Energy:

الفرق فى الطاقة بين حالة الإثارة للنواة وحالة همودها.

١٠١- Nuclear Fission:

إنـشطار الـنواه (ذات Z عالـية) إلى أجـزاء نـويات (ذات Z منخفضة) مع انطلاق طاقة، بمساعدة مقذوف.

١٠٢- Nuclear Force:

قوى الجذب بين إثنين من النويات (2 Nucleaons).

١٠٣- Nuclear Fule Pellets: قذائف الوقود النووى

وحـدات اسـطوانية صـغيرة مـن أكـسيد اليورانيوم، بقطر حوالى ¼ بوصة وطول ½ بوصة التى تشكل الوقود المستخدم فى محطة الطاقة النووية.

١٠٤- Nuclear Fule Rods:

قضبان بطول ١٢ إلى ١٤ قدم التى تحتوى كرات Pellets الوقود.

١٠٥- Nuclear Fusion:

الانـدماج المطلـق للطاقـة (Exoergic Joining) للـنويات الخفـيفة لتكوين نواه أثقل عند درجة الحرارة العالية.

١٠٦- Nuclear Genetic Effects:

الـتأثيرات الـضارة للإشـعاعات الـنووية التى تؤدى إلى التغير فى الصفات الوراثية وتؤثر على النسل (Off- Springs).

١٠٧- Nuclear Isomerism : التجازئ النووى.

ظاهرة النويات ذات نفس الرقم الذرى (Z) والرقم الكتلى (A). ولكن توجد فى حالات طكاقة مختلفة، كما تختلف من حيث الترتيب والخصائص.

١٠٨- Nuclear Isomers : المتجازئ النووى.

نويات ذات نفس الأعداد للبروتونات والنيوترونات ولكن قادرة على الوجود لوقت مقاس، فى مستويات طاقة مختلفة.

١٠٩- Nuclear Magneton : وحدة العزم المغناطيسى النووية.

وحدة العزم النووى المغناطيسى تساوى (eh / 4 II mpc).

١١٠- Nuclear Power :

الكهرباء المتولدة بالتفاعل النووى (الانشطار).

١١١- Nuclear Propulsion : الدفع النووى.

استخدام الطاقة النووية للدفع (الغواصات، الطائرات،.. الخ).

١١٢- Nuclear Reaction :

العملية التى فيها تتفاعل النواه مع نواه أخرى، جسيم عنصرى، أو كم ضوئى، لإنتاج فى زمن قدرة ١٠$^{-١٢}$ ثانية أو أقل واحد أو اكثر من نويات اخرى واحتمال جسيمات أخرى.

١١٣- Nuclear Reprocessing Plant :

التجهيزات حيث يتم إستخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم من قضبان الوقود العادم لاعادة استخداكمه ثانيا كوقود.

١١٤- Nuclear Somatic Effects : التأثيرات النووية الجسدية.

التأثيرات الضارة للإشعاعات النووية على أنسجة الجسم.

١١٥- Nuclear Waste :

المادة التىهى منتج ثانوى من عملية استخلاص الخام من المنجم، من إنتاج الطاقة الكهربية فى المفاعلات ، تصنيع المواد الحربية، تحضير العقاقير النووية.

١١٦- Nucleon :

الاسم العادى للجسيمات النووية، البروتون والنيوترون.

١١٧- Nuclide :

الاسم العادى لأكثر من ١٣٠٠ نوع معروف من الذرات والتى تتصف بعدد البروتونات والنيوترونات فى النواه.

١١٨- Nucleus:

المنطقة المركزية للذرة، صغيرة جدا مقارنة بالحجم الكلى للذرة، حيث فيها يتركز كل الكتلة والشحنة الموجبة للذرة.

١١٩- Odd - Even Nuclie:

نويات فردية زوجية : فردية البروتونات زوجية النيوترونات.

١٢٠- Even - Odd - Rules:

موجز لتأثير زوجية الينومليون (البروتون أو اليوترون)، الاستقرار انووى هو دلالة للزوجية للنواه كما هو متوقع بنموذج الغلاف للنواه.

١٢١- Packing fraction:

نسبة الفرق بين الكتلة النظائرية وارقم الكتلى إلى الرقم الكتلى للنوية $F = \frac{M - A}{A}$

١٢٢- Photo Disintegration:

تفاعل الكم الضوئى عالى الطاقة مع النواه، يتم امتصاص الكم الضوئى، ثم يتم قذف نيوترون، بروتون، أو جسيم ألفا من الذرة المثارة.

١٢٣- Photo Fission:

إنشطار النوية بفعل أشعة جاما عالية الطاقة.

١٢٤- photon:

كم الاشعاع الكهرومغناطيسى، الكم المثيل لجسيم القوة الكهرومغناطيسية.

١٢٥- Pile:

التنظيم الشبة شبكى للمهدئ والوقود فى المفاعل النووى.

١٢٦- Positron:

الجسيم الحامل للشحنة الموجبة له نفس الكتلة ومقدار الشحنة اللإليكترون.

١٢٧- Positron Decay:

شكل النشاط الاشعاعى حيث البروتون فى النواه يتحول إلى نيوترون مع إنبعاث بوزيترون ونيوترون (Neutrion) والذى هو جسيم ليس له وزن أو شحنة ينبعث مع البوزيترون.

١٢٨- Power Reactor:

المفاعل المستخدم لتوليد الكهرباء باستخدام الحرارة الناتجة فى عملية الانشطار لإنتاج البخار.

١٢٩- Pressurized Water Reactor:
مفاعل الماء الخفيف حيث مياه التبريد يتم ضغطها لمنع حدوث الغليان. الحرارة من ماء التبريد يتم انتقالها إلى ماء ذو ضغط أقل فى نظام ثانى. الماء فى النظام الثانى عندئذ يغلى، منتجا بخار الذى يدير التربين.

١٣٠- Proton:
الجسيم الأساسى من مكونات الذرة (نواة الذرة) والذى له شحنة موجبة تساوى فى مقدارها الشحنة السالبة للإليكترون.

١٣١- PWR: Presasurized Water Reactor
مفاعل الماء المضغوط.

١٣٢- QOF Nuclear Reaction:
طاقة التفاعل النووى يرمز لها بالرمز Q، يمكن أن تكون موجبة أو سالبة.

١٣٣- Quantum:
أصغر مقدار من الطاقة يمكن أن يوجد مستقلا (الكم) وحدة منفصلة أو مجموعة من الكمية. الطاقة يتم تبادلها بين إثنين من الجسيمات عند مستوى ذرى فقط فى كميات كمية.

In Quatum Amounts

١٣٤- Rad:
كمية الاشعاع الممتص من أى نوع والذى يخلف (يرسب) ١٠٠ إرج فى كل جرام من المادة.

١٣٥- Radiation:
الجسيمات السريعة والموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة من مركز (النواه) الذرة أثناء التحلل الاشعاعى.

١٣٦- Radiation Chemistry:
دراسة التغيرات الكيميائية التى بدأت تعمل (Initiated) بواسطة الاشعاعات مثل المواد المشعة.

١٣٧- Radiation Monitoring : الرصد الاشعاعى.
مراجعة جرعات الاشعاع التى يستقبلها الشخص، وقياس كثافة الاشعاع فى أماكن مختلفة التى يوجد فيها السكان، وهذا جزء من عمل أطباء الصحة العامة.

١٣٨- Radiation Sickness:

المرض الذى يعانيه المرضى بفعل المعالجة الكثيفة بأشعة إكس أو الراديوم (Radium)، المرض المزمن (Ailments) بسبب الاشعاعات النووية.

١٣٩- Radioactivity:

انطلاق طاقة إشعاعية فى شكل جسيمات وأشعة بفعل تحلل نواه الذرة.

١٤٠- Radioistopes:

ذرات العنصر التى لها نفس عدد البروتونات وعدد مختلف من النيوترونات التى تبعث إشعاع مؤين عند تحللها.

١٤١- Radiosotope Generator:

التجهيز الذى يولد كميات صغيرة من الكهرباء مستخدما الحرارة المنتجة بواسطة النظائر المشعة. Pu-238، Sr-90 يقوموا بهذا الغرض.

١٤٢- Radiological Warfare:

استخدام النظائر المشعة كمواد سامة وضارة لتلوث أرض العدو بما يسبب أخطار للسكان على أرض العدو.

١٤٣- Radiolysis:

العملية التى فيها يتم رفع الجزئ إلى الحالة المثارة، تأينة، إنشطاره إلى شظايا مثل الشق الحر (Free Radicals) بالإشعاع.

١٤٤- Range:

المسافة التى خلالها تكون القوة مؤثرة.

١٤٥- Reactor Containment Building:

المنشأ المصنوع من الصلب – الخراسانة المسلحة الذى يحتوى المفاعل النووى. يصمم لمنع هروب المادة المشعة إلى البيئة.

١٤٦- Reactor Core:

الجزء المركزى للمفاعل النووى الذى يحتوى قضبان الوقود، المهدئ، قضبان التحكم. فى القلب يحدث التفاعل النووى وتتولد الحرارة.

١٤٧- Reactor Decommissioning:

عملة أخذ المفاعل النووى خارج الاستخدام وتأمين التخلص منه بعد نهاية عمره فى الخدمة.

١٤٨- Reactor Fuel:

المـادة التـى تحتوى النظير الانشطارى، مكوناتها يمكن أن تتراوح من اليورانيوم الطبيعى إلى مادة عالية الاخصاب فى U-235، Pu-239 أو U-233.

١٤٩- Reactor Fule Assembly:

المنـشأ المكـون مـن حـوالى ٢٤٠ قـضب وقـود، التـى تحـتوى علـى حـبات اليورانـيوم (Pellets). تجهيزات الوقود هذه توضع فى قلب المفاعل.

١٥٠- Reactor Safey Syatem:

الطريقة والمعدة المصممة لتجنب الحوادث فى عمليات المفاعل.

١٥١- RBE –Relative Biological Effacts :

مـصطلح يـستخدم للتعبير عن جرعة الإشعاع، وهو النسبة ما بين الجرعة بالراد (Rads) لإشعاع بطاقة معينة الجرعة لإشعاع معطى منتجا نفس التأثير البيولوجى، حيث:

RBE dose (rems) = dose (rads) X R B E

١٥٢- Rem, radiation Equivalent man

مجمـوع الـراد (Rad) ومعامـل النوعـية (Qf) المحـدد لنوع معين من الاشعاع طبقا لزمن العمر (LET)، وحدة الجرعة المتصة للأشعة المؤينة.

١٥٣- Research Reactor:

واحـد مـن مفـاعلات الطاقـة المنخفـضة أو المتوسطة المخصص أساسا كمصدر للنيوترونات وأشعة جاما فى أغراض الأبحاث.

١٥٤- (r) Roentgen:

تلك الكمية من اشعاع إكس أو جاما التى سوف تنتج، فى ٠,٠٠١٢٩٣ جرام من الهواء، واحـد شـحنة كهـربية (Iesu) بـأى علامـة. هذه الكمية من الشحنة تساوى 2.1 x 109 زوجين من الأيون.

١٥٥- Rossi Curve:

منحنـى تم الحصول عليه بتوقيع وابل من الأشعة الكونية ملاحظ فى وقت معين مع كل سمك من الرصاص.

١٥٦- Scattering:

تفاعـل جسيمين حيث فيه يعيد إرتدادا\ كل منهما الآخر (كما فى حالة كرات البلياردو) أو خلق جسيمات جديدة.

١٥٧- Scintillation counter:
التجهيز الذى فيه يتكون الكم الضوئى بسقوط الاشعاع والتى يتم عندئذ جمعها وقياسها.
١٥٨- Secular Equilibrium:
حالة محددة من الإتزان الاشعاعى الذى فيه يكون نصف العمر الأب أكبر مرات عديدة من نصف العمر للإبنه.
١٥٩- SGHWR:
مفاعل الماء الثقيل لتوليد البخار.
١٦٠- Shielding:
المادة المستخدمة لحماية السكان والكائنات الحية .لآخرى من إشعاع التأين.
١٦١- Spent Fuel:
وقود اليورانيوم الذى استخدم وتمت إزالته من المفاعل.
١٦٢- Spontanious Fission:
إنشطار نويات ثقيلة معينة بمجرد تكوينها بدون أى إستمالة أو إثارة (Inducement).
١٦٣- Subatomic Particle:
الجسم الأصغر من أصغر ذرة.
١٦٤- Ternary Fission:
انشطار النواه الثقيلة إلى ثلاث نويات . هذا النوع من الإنشطار هو واحد فى كل ٤٠٠ عملات إنشطار.
١٦٥- Thermal Neutrons: (النيوترونات الحرارية):
النيوترونات حيث متوسط طاقتها تساوى متوسط الطاقة الحركية للجزئيات عند درجة حرارة الغرفة، الطاقة لهذه النيوترونات لها توزيع ماكس وليمان (Maxwelliah Distribution).
١٦٦- Thermal Reactor:
المفاعل الذى فيه معظم تفاعلات الانشطار تكون يسبب إمتصاص النيوترونات البطيئة (حرارية).
١٦٧- Thermonuclear Match:
كفاعل الانشطار بهدف إمداد الطاقة الحرارية الضرورية لبدء تحفيز (Initiate) تفاعل الاندماج فى مفاعلات خاصة وهذا مازال فى مرحلة التجارب.

١٦٨- Thermonuclear Reaction :

التفاعلات النووية التى تحدث فى التصادمات بين نويات عنصر خفيف حيث طاقتهم الحرارية تكون كبيرة بما يكفى للسماح باختراق حاجز كولومب.

١٦٩- Thermordio Activity :

إنطلاق حرارة من المواد المشعة.

١٧٠- Transient Equilibrium :

مثل الإتزان العامى (Secular) فى أن نصف العمر للأب أكبر من نصف العمر للإبنه ولكنه يختلف عن الأتزان العامى فى أن أنصاف العمر تختلف فقط بعامل صغير (حوالى عشرة أضعاف) وليس بعامل كبير (410 أو أكبر).

١٧١- Transmutation :

العملية التى فيها يتحول أحد العناصر إلى عنصر آخر.

١٧٢- Tritium : هيدروجين — ٣

١٧٣- Triton

نواة $^{3}_{1}H$ ، ترتيوم موجب الشحنة

١٧٤- Transuranium Elements :

العناصر ذات أرقام ذرية أكبر من ٩٢ (اليورانيوم).

١٧٥- (Unified Mass Unit (u :

الوحدة التى تعبر عن الأرقام الكتلية المبنى على مقياس قياس للكربون — ١٢, 1U هو ١ : ١٢ من كتلة ذرة C-12 متعادلة وغير مثارة تساوى 1.66043 x 10-24 إرج.

١٧٦- Unstable Isotopas :

النظائر التى تتغير فورا بالتحلل الاشعاعى.

١٧٧- Uranium Enrichment :

العملية التى تزيد نسبة نظير U-235 فى وقود الورانيوم من أقل من ١٪ إلى ٣٪.

١٧٨- Uranium Graphite Pile :

اسم آخر للمفاعل الذى فيه اليورانيوم هو الوقود والجرافيت هو المهدئ .

١٧٩- Yellow Cake :

مسحوق أصفر يحتوى معظمه على اليورانيوم يتم الحصول عليه من طحن اليورانيوم.

١٨٠- Zircaloy :

سبيكة قوية من الزركونيوم والقصدير تستخدم لعمل قضبان الوقود فى محطة الطاقة النووية.

ملحق (ب)

Conersion Factors :معاملات التحويل

للحصول على	في	إضراب
كيلو جرام / سم٢	1.01922	(Bars) بار
باسكالز (نيوتنز / المتر المربع)	10^{5}	(Bars) بار
Joules	1055.05585	BTU,S
كيلوات ساعة	0.000293	BTU,S
كيلو كالوري	0.252	BTU
(H) Horsepower	1.419	BTU / sec
Joulesper Gram	2.326	BTU / pound
Electron Charges	6.2415×10^{18}	Coulombs
Foules	1.602177×10^{-19}	Electronvolts (ev)
Volts	300	Electrostatic unit Ofpotential
Joules	10^{-7}	Ergs
Calories	2.38846×10^{-8}	Ergs
Megaelectron Volts-mev	6.241506×10^{-5}	Ergs
Watts	10^{-7}	Ergs / sec
Coulombs	96485.31	Faradqus
Calories	0.2388	Joules (Watls-sec)
Ergs	10^{7}	Joules
Electron Volts (ev)	6.241506×10^{18}	Joules
Gram Calories	0.23892	Joules
Kilowatt-hour	2.77778×10^{-7}	Joules
Megaelectron Volts (Mev)	6.241506×10^{12}	Joules
Electron Volts	4.3393	Kilo calorie/Mole
Electron Volts	1.03642×10^{-2}	Kilomoules/Mole

جول = وحد قياس الطاقة = ١٠ مليون إرج.

إرج = وحدة الشغل المطلقة فى النظام المترى = داين سم.

للحصول على	في	إضراب
BTU	105	Therms
Megajoules	105.506	Therms
Bthu	3967.09	Thermies
Megajoules	4.1855	Thermies
Etgs/sec	10^{7}	Watts (Joules/sec)
BTU/Hour	3.41214	Watts
HP	0.001341	Watts
Gramme Calorie/Hour	860.1123	Watts
Ergs	10^{7}	Watt seconds
Joules	1	Watt seconds

معاملات التحويل:

16.012×10^{-14} جول = 1.6020×10^{-6} إرج = ١ Mev

1.6020×10^{-12} إرج = Iev

6.242×10^{5} Mev = Ierg

23.045 كالورى لكل جزئ. = Iev per Molecule

1.66032×10^{-24} جرام. = Iamu (C^{12}scale)

واحد سنة = 3.15581×10^{7} ثانية

10^{-13}cm = Ifermi

10^{-24}cm = Ibarn

3.7×10^{10} تحلل فى الثانية. = Icurie

خواص الاليكترون، البروتون، النيوترون.

المعايير / الجسيم	الشحنة $E = 4.8028 \times 10^{-10}$ esu $= 1.60210 \times 10^{-19}$ coulomb	الكتلة	الدوران الحقيقي / ثانية
إليكترون	-e	$M = 9.1091 \times 10^{-28}$g =5.48597 amu	$\frac{1}{2}$
بروتون	+e	=1.008145 amu Mp = 938.72 mev (متضمّنة كتلة الإليكترون)	$\frac{1}{2}$
نيوترون	صفر	Mn=1.00882 amu =939.50 mev	

ملحق (جـ)

١- وحدات الكتلة الذرية (ATOMIC Mass Unit) تختصر (uma) أو u

وهذه تساوى = 1.660432×10^{-27} kg

٢- ثابت أفوجادرو (Avogadro Constant).

يساوى 6.022045×10^{23} ذرة فى كل جزئ.

٣- Bohr Radivs (a.0) = 5.291672×10^{-11} متر.

٤- One Coulomb Of Electricity = 6.10^{18} Electrons

٥- (K) Boltzmans"Constant 1.38054×10^{-23} Joules Per degree (Kelvin) or 8.6167×10^{-5} electron Volts / degree.

٦- Compton Wave Length Of Electron λ ce

= 2.426212×10^{-12} m

٧- Compton Wave Length Of Proton λ cp

= 1.321398×10^{-15}

٨- Electron = Icoulmb Of Electricity 6×10^{18}

٩- Compton Effect = تشتت الفوتونات المرن بفعل الاليكترونات.

١٠- Electron Charge (e) Coulomb $1.6021892 \times 10^{-19}$

١١- Coulomb Am pere / sec

١٢- Electron Charge To Mass Ratio $\frac{e}{me}$

= 1.7688×10^{11} coulomb / kg

١٣- Electron Radives re

= 2.81777×10^{-15}

١٤- Electron Rest Mass U (amu)

= 9.109×10^{-31} kg أو 5.48597×10^{-4} (amu)

١٥- Electrostic Constant eo

= 8.989×10^{9} Newton m^2 / $coulomb^2$

١٦- Farday Constant F
= 96487 Coulomb / Mole

١٧- Kilowatt Hour Kwtt
= 2.247×10^{25} Ev

١٨- Loschid"s Constant وهو عدد الجزئيات فى واحد سم³ من الغاز المثالى
عند المستوى القياسى للضغط والحرارة

$$\frac{No}{Vo} = n \quad 2.68742 \times 1019$$

No- OF molecules In Icm^2 ofideal gas A T N T P

١٩ – Mechanical equivalent of Hear
= 4.184 Joules per Calorie

٢٠ – Molar Volume Vo 22.415 Litres.

٢١- Neutron Restmass mn =
1.0086654 u (amu) or 1.67252×10^{-27} Kg .

٢٢ – Proton Rest Mass mp =
1.0072766 u (amu) or 1.67252×10^{-27} Kg .

٢٣ – Proton / Electron Mass Ratio $\frac{mp}{me} = 1836.15$.

٢٤ – القوة (Power) تعرف بأنها معدل إنتقال الطاقة (Energy)

متوسط القوة = $\frac{\text{االطاقة المنقولة}}{\text{الزمن}}$

وحدة القوة تسمى الوات (W) ومعدل إنتقال الطاقة هو جول فى الثانية.

الوحدات الكبيرة تستخدم 1KW = 1000 وات(10^3 وات)

1 MW = مليون وات (16^6 وات).

1 Kev = ألف اليكترون فولت (10^3).

1 Mev = مليون اليكترون فولت (10^6).

1 Gev = مليار اليكترون فولت (10^9).

٢٥ – القوة (Force) هى تلك تغير حالة الجسم من السكون أو من الحركة المنتظمة فى خط مستقيم، بمعنى آخر هو أن القوة تسبب عجلة للجسم (Acceleration) وتعرف وحدة القوة (F) بالعجلة الناتجة عن عمل قوة على كتلة قدرها واحد كيلو جرام. وحدة القوة هذه تسمى نيوتن (N). واحد نيوتن هو القوة اللازمة لاعطاء كتلة كيلو جرام واحد عجلة قدرها متر واحد فى الثانية تربيع. وزن كيلو جرام واحد يساوى ٩,٨ نيوتن ويوجد ١٠ ينوتن (10 N). وبذلك فإن واحد ينوتن يساوى ١٠٠ جرام.

٢٦ – الشغل (Work) = القوة × مسافة التحرك فى إتجاة القوة

الوحدة القياسية للشغل تسمى جول (J) وهى الشغل الذى يتم عند نقطة استخدام القوة بواحد ينوتن (IN) للتحرك خلال متر واحد (m) فى إتجاه القوة.

الوحدات الأكبر المستخدمة هى الكيلو جول (KJ) والميجا جول (MJ).

١ كيلو جول = ١٠٠٠ جول (10^3 J).

١ ميجا جول = ١٠٠٠٠٠٠ جول (10^6 J).

لذلك فإن القاطرة التى تنتج قوة مقدارها (9000 N) لمسافة ٦ متر سيكون الشغل 9000 x 6 = 54000 J = 5.4 KJ.

مثال:

ما هو الشغل الذى يقومب ه شخص وزنه ٦٥ كيلو جرام ليتسلق سلم بارتفاع ٤ متر.

الحل:

الشغل الذى تم عمله بفرض (g = عجلة الجاذبية = ١٠ متر/ ث٢) هو (65 x 10) × 4 = 2600 J

٢٧ – الطاقة : أى شئ يمكنه عمل الشغل الذى تم تعريفه سابقا يقال انه يمتلك طاقة ولذلك فإن الطاقة هى القدرة على عمل الشغل.

من الطبيعى أن قياس الطاقة والقوة يتم بنفس الوحدات وهى الجول.

تنقسم الطاقة الميكانيكية إلى نوعين وهما:

طاقة الوضع Potential Energy

الطاقة الحركية Kinetic Energy.

الطاقة لا تفنى ولكنها تنتقل من شكل إلى شكل آخر.

مثال:

إذا كانت كتلة الوزان ٥ كيلو جرام وتم رفعها ٢ متر وعلى فرض أن عجلة الجاذبية $g = 10\ m / sec^2$، ومع استخدام قوة مقدارها (5 x 10 N) خلال مسافة مقدارها(2 m) عندئذ فإن الشغل الذى تم عمله ينتقل إلى طاقة وضع فى هذه الأوزان.

لذلك فإن طاقة الوضع = الشغل = القوة × المسافة = 5 x 10 x 2 J = 100 J.

مع هبوط الأوزان ببطئ فإن طاقتها الوضعية تتحول إلى طاقة حركية

الطاقة الحرارية: فى علم الطبيعة تعرف الطاقة بانها الانتقال للطاقة من مكان إلى آخر بسبب اختلاف درجة الحرارة بينهما. تنتقل الحرارة بثلاث طرق رئيسية وهى التوصيل (Conduction)، الحمل (Convection)، الإشعاع (Radation).

فى الديناميكا الحرارية حيث العلاقة بين الحرارة والشغل، تستخدم لذلك الرموز الآتية:

U للطقاة الداخلية، Q للحرارة، W للشغل.

لذلك فإن الطاقة الداخلية لبعض البخار كمثال تمثل بـ U جول، هذه الطاقة الداخلية يمكن تغييرها بإضافة أو طرح Q بالجول للحرارة. الطاقة الداخلية للبخار يمكن زيادتها بضغطه أى عمل W بالجول بالشغل عليه، أو أن البخار يسمح له بالتمددد وانتقال بعض من طاقته الداخلية إلى W جول لشغل مفيد كما فى حالة تشغيل التربين لتوليد الطاقة الكهربية.

ملحق (د)

تقسيم النيوترونات:

الاسم	الطاقة	التفاعل الرئيسي	تعليقات
حراري	0.025 ev عند ٢٢°م	اقتناص	سرعة متوسطة = ٢٢٠٠ متر/ث ماكسويليان توزع الطاقات
متوسط (رنين النيوترونات)	0.5 ev- 10 Kev	تشتت لدن واقتناص	الامتصاص يتبع قانون I / v ويبيَن ذروة الاقتناص
سريع	0.5 ev- 10 Kev	تشتت لدن	معظم النيوترونات يتم قذفها من النويات بتلك الطاقات
النسبية	20 Mev	التشظي	الكتلة النسبية أكبر كثيرًا عن كتلة الثبات

توزيع النويات المستقرة طبقا للرقم النووى الفردى أو الزوجى: (Odd Or Even):

A	Z	N	عدد النويدات (Nuclides)
زوجي	فردي	فردي	٤
فردي	فردي	زوجي	٥٠
فردي	زوجي	فردي	٥٥
زوجي	زوجي	زوجي	١٦٥

جدول تجميع النويات وسهولة الإنشطار:

مكونات النواة		النظائر المستقرة نسبيًا	انشطار بواسطة
نيوترونات	بروتونات		
زوجي	زوجي	$^{232}_{90}Th$, $^{238}_{92}U$	نيوترونات سريعة
زوجي	فردي	$^{231}_{91}Pa$, $^{237}_{93}Np$	نيوترونات سريعة
زوجي	فردي	$^{232}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{239}_{94}pu$	نيوترونات بطيئة
فردي	فردي	غير مستقر	غير معروف

جدول الطاقة المنطلقة فى إنشطار بواسطة النيوترونات:

	Mev
الطاقة الحركية لشظايا الانشطار	167
الطاقة الحركية لنيوترون الانشطار	5
طاقة الجسيم B	5
طاقة الأشعة جاما (Y)	10
طاقة النيوترينو	11
إجمالي الانشطار	198

ملحق (هـ)

نظام القياسى المترى:

الاسم	الرمز	العامل
Deci – ديسي	D	$0.1 = 10^{-1}$
Centi – سنتي	C	$0.001 = 10^{-2}$
Milli – مللي	m	$0.0001 = 10^{-3}$
Micro – ميكرو	u	$0.000001 = 10^{-6}$
Nano – نانو	n	$0.000000001 = 10^{-9}$
Pico – بيكو	P	$0.000000000001 = 10^{-12}$
Femto – فمتو	F	$0.000000000000001 = 10^{-15}$
Atto – أتو	A	10^{-18}
Zepto – زبتو	Z	10^{-21}
Yocto – يوكتو	y	Z^{-24}
Deca – ديكا	da	$10 = 10^{1}$
Hecto – هكتو	h	$100 = 10^{2}$
Kilo – كيلو	K	$1000 = 10^{3}$
Mega – ميجا	M	$1000000 = 10^{6}$
Giga – جيجا	G	10^{9}
Tetra – تترا	T	10^{12}
Peta – بيتا	P	10^{15}
Exa إكزا	E	10^{18}
Zeta – زيتا	Z	10^{21}
Yotta – يوتا	y	10^{24}

ملحق (و)

الرموز

Symbols

Erg	e
Electron	e ,e , $^{0}_{1}e$
Positron	^{+}e $^{0}_{1}e$
(Electronmagnetic Unit)	emu
Electron Rest mass	ERM
Electroretinogram	ERS
Electron Spin Resonance	ESR
Electrostatic Unit	esu
Electron Volt	ev, ev
Gramme Calorie	g cal
Geiger – Mueller	G/ M
Gram – Molecular Volume	GMV
Mechanicah Equi valent & Heat J	J
Joule, Joule"s Equivalent	J , j
Electric Current Density	J, j
Joule (s) Perkelvin	J/ K
Joules Per Second	J / S
Kilo Electron Volts	Kev
Kilogram – Calorie	kgc
Kilo Joule	KJ
Kiloroentgen	Kr
Kiloruther Ford	Kr
Kilovolt	KV
Kilovolt Ampere	Kva
Kilo Watt Hour	KWH
Wavehength, Decay Constant	λ
Liquid Metal Fast Breeder Reactor LMFBR	LMFBR
Liquid Metal Reactor	LMR
Electron Rest mass	me
Mega (Million) Electron Votts	Mev

Millivolt	mv
Megavolt - ampere	MVA
Mega Watt	Mw
Roentgen - Equivalent	rem
Man	rem
Mass Number, Proton Number, Atomic	Z
Number, Valence	Z

ملحق (ز) بيان بالعناصر:

الاسم	الرمز	العدد الذري Z	الاسم	الرمز	العدد الذري Z
٦	٥	٤	٣	٢	١
نيكل	Ni	٢٨	هيدروجين	H	١
نحاس	Cu	٢٩	هيليوم	He	٢
زنك	Zn	٣٠	ليثيوم	Li	٣
جاليوم	Ga	٣١	بيريليوم	Be	٤
جيرمانيوم	Ge	٣٢	بورون	B	٥
زرنيخ	As	٣٣	كربون	C	٦
سيلينيوم	Se	٣٤	نيتروجين	N	٧
بروم	Br	٣٥	أكسجين	O	٨
كريبتون	Kr	٣٦	فلورين	F	٩
روبيديوم	Rb	٣٧	نيون	Ne	١٠
إسترنشيوم	Sr	٣٨	صوديوم	Na	١١
تيريم (yttrium)	Y	٣٩	مغنسيوم	Mg	١٢
زركونيوم	Zr	٤٠	ألومنيوم	Al	١٣
نيوبيوم	Nb	٤١	سيليكون	Si	١٤
موليدينوم	Mo	٤٢	فوسفور	P	١٥
تكنيتيوم	Tc	٤٣	كبريت	S	١٦
روثيريوم	Ru	٤٤	كلور	Cl	١٧
روديوم	Rh	٤٥	أرجون	A	١٨
باليديوم	Pb	٤٦	بوتاسيوم	K	١٩
فضة	Ag	٤٧	كالسيوم	Ca	٢٠
كادميوم	Cd	٤٨	إسكانديام	Sc	٢١
إنديام	In	٤٩	تيتانيوم	Ti	٢٢
قصدير	Sn	٥٠	فاناديوم	V	٢٣
أنتيموني	Sb	٥١	كروميوم	Cr	٢٤
تيليريوم	Te	٥٢	منجنيز	Mn	٢٥
اليود	I	٥٣	حديد	Fe	٢٦
إكزينون	xe	٥٤	كوبالت	Co	٢٧

العدد الذري Z	الرمز	الاسم	العدد الذري Z	الرمز	الاسم
١	٢	٣	٤	٥	٦
٥٥	Cs	caesium-كايزيام	٨٣	Bi	بيزمث
٥٦	Ba	باريوم	٨٤	Po	بولونيوم
٥٧	La	لانثانم	٨٥	At	أستاتين
٥٨	Ce	سيريوم	٨٦	Rn	رادون
٥٩	Pr	براسيوديميوم	٨٧	Fr	فرانسيوم
٦٠	Nd	نيو ديميوم	٨٨	Ra	راديوم
٦١	Pm	بروميثيوم	٨٩	Ac	أكتينيوم
٦٢	Sm	ساماريوم	٩٠	Rh	ثوريوم
٦٣	Eu	إيروبيوم	٩١	Pa	Protactinium
٦٤	Gd	جادوينيوم	٩٢	U	يورانيوم
٦٥	Td	تريبيوم	٩٣	Np	نبتونيوم
٦٦	Dy	ديسبروزيوم	٩٤	Pu	بلوتونيوم
٦٧	Ho	هولميوم	٩٥	Am	أميريكيم
٦٨	Er	إربيوم	٩٦	Cm	سيريم (curium)
٦٩	Tm	ثاليام	٩٧	Bk	بيركيليوم
٧٠	Yb	ytterbium	٩٨	Cf	كاليفورنيوم
٧١	Lu	ليوتيتيوم	٩٩	E	Einsteinium
٧٢	Hf	هافنيام	١٠٠	Fm	فيرميام
٧٣	Ta	تنتالام	١٠١	Mv	مندليفيوم
٧٤	W	تنجستن	١٠٢	No	نوبيليوم
٧٥	Re	رينيوم	١٠٣	Lw	لاورنيسيان
٧٦	Os	أوزميوم	١٠٤	Ku	كيرشاتوفيام
٧٧	Ir	إيريديوم	١٠٥	Ha	هاهنيام
٧٨	Pt	بلاتين			
٧٩	Au	ذهب			
٨٠	Hg	زئبق			
٨١	Tl	ثاليوم			
٨٢	pb	رصاص			

محتويات الكتاب

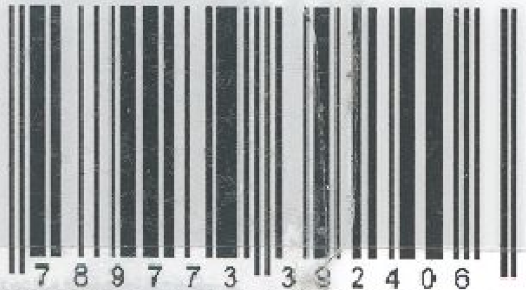
العلوم النووية وتطبيقاتها

يهدف نشر هذا الكتاب إلى إثراء المكتبة العربية بالعلوم المعرفية عن الطاقة النووية واستخداماتها وكذلك نشر الوعى العلمى والثقافى فى هذا المجال وتعريف الشباب بالجهود التى بذلها العلماء حتى الوصول إلى ما تحقق.

الناشر






ISBN 977-339-240-6
9 789773 392406